



Hydrologisch Ontwerp Sluis 0

Berekeningen voor de hydrologische aspecten

projectnummer 00455156
definitieve revisie 2.0
16 juni 2021

Hydrologisch Ontwerp Sluis 0

Berekeningen voor de hydrologische aspecten

projectnummer 00455156
documentnummer SDB-0100 - RAP - Hydrologische ontwerp berekeningen
definitieve revisie 2.0
16 juni 2021

Auteurs

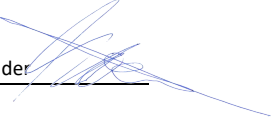
Ir. G. Dorgelo

Opdrachtgever

Strukton Civiel Zuid en Van den Herik
Westkanaaldijk 2
Postbus 1025 3600 BA Maarssen

datum vrijgave	beschrijving revisie 2.0
18-06-2021	Definitief

controle
M. de Kloet 

vrijgave
K. van Gelder 

Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	2
1.1	Algemeen	2
1.2	Revisiebeheer	2
1.3	Doel en scope van het rapport	2
2	Basis voor het ontwerp	3
2.1	Normen, richtlijnen en literatuur	3
2.2	Contractdocumenten	3
2.3	Volgorde contract, normen en richtlijnen	3
2.4	Eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden	4
2.4.1	Eisen spuiwerk	4
2.4.2	Waterpeilen	4
3	Ontwerp van de constructies	6
4	Berekening spuikanalen	7
4.1	Spuikanaal afmetingen	7
4.2	Stijghoogten	7
4.3	Energieverliezen, stroomsnelheid en debiet	8
4.3.1	Inlaatverlies	9
4.3.2	Uitlaatverlies	10
4.3.3	Bochtverlies	10
4.3.4	Wrijvingsverlies	10
4.3.5	Objectverlies door schuif	11
4.3.6	Objectverlies te hekwerk	12
4.4	Passageratio als functie van waterstandsverschil en openingsratio	13
4.5	Praktische handleiding voor de bepaling van de openingshoogte	13
5	Berekening bodembescherming	15
5.1	Bovenstroomse belasting door spuikanalen	15
5.2	Benedenstroomse belasting door spuikanalen	15
5.3	Belasting door maatgevend schip bovenstrooms, benedenstrooms en in kolk	15
5.4	Schutten	16
5.5	Filterlagen	17
5.6	Geotextiel	18
5.7	Inscharingslengte	18
6	Berekening kwelstroom	20
6.1	Bovenpands	21
6.1.1	Achterloopsheid	21
6.1.2	Onderloopsheid	22

6.2	Benedenpands	22
6.2.1	Achterloopsheid	23
6.2.2	Onderloopsheid	23

7	Stroomsnelheden in de kanalen	25
----------	--------------------------------------	-----------

8	Conclusies en aandachtspunten	26
----------	--------------------------------------	-----------

8.1	Conclusies	26
8.2	Aandachtspunten	27

Bijlage 1 Eisen

Bijlage 2 Debietsbepaling

Bijlage 3 Verificatieformulier

1 Inleiding

1.1 Algemeen

Voorliggend document omvat de DO-berekening voor het hydrologisch ontwerp van Sluis 0 welke in de vaarweg te 's-Hertogenbosch gebouwd dient te worden. In dit rapport worden de te hanteren uitgangspunten ten behoeve van de berekeningen en het ontwerp van de hydrologische constructies nader uitgewerkt en aangevuld tot concrete en eenduidige grondslagen voor de berekeningen, waarna de hydrologische berekening uitgewerkt wordt.

Dit rapport is opgesteld door Antea Group in opdracht van Strukton Civiel Zuid en Van den Herik, ten behoeve van hun werkzaamheden rondom Sluis 0. Onderstaande afbeeldingen illustreren de beschouwde locatie.



Figuur 1. Overzichtstekening van de te bouwen Sluis 0

1.2 Revisiebeheer

Revisie	status	Datum	Gewijzigde hoofdstukken	Beschrijving wijzigingen
0.1	concept	24-04-2021	-	Eerste versie voor interne controle
0.2	concept	11-05-2021	Diverse	Tweede versie voor interne controle
1.0	definitief	21-05-2021	Diverse	Derde versie na controles
1.1	concept	09-06-2021	Diverse	Vierde versie na controle opdrachtgever
2.0	definitief	16-06-2021	Diverse	Vijfde versie na controles

1.3 Doel en scope van het rapport

Voor dit project is een eisenspecificatie voorhanden. De relevante eisen voor de berekening van dit object zijn in bijlage 1 van dit rapport opgenomen. In de eisenspecificatie zijn tevens de vigerende normen en richtlijnen aangegeven. Relevante eisen, uitgangspunten en voorgeschreven documenten zijn in dit rapport opgenomen en uitgewerkt tot concrete berekening in deze DO fase.

Dit rapport biedt hiermee de basis voor de verdere uitwerking van de berekeningen in de UO fase.

2 Basis voor het ontwerp

2.1 Normen, richtlijnen en literatuur

Bij dit project zal gebruik worden gemaakt van de onderstaande normen en richtlijnen.

Norm	Omschrijving	ref
Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk, WBI 2017 - Rijkswaterstaat	Over piping berekeningen	[N.1]
Richtlijnen Vaarwegen 2017 – Rijkswaterstaat	Richtlijnen omtrent vaarwegen	[N.2]

Literatuur	Omschrijving	ref
Engineering Fluid Mechanics – Donald F. Elger et al.	Over stroming van vloeistoffen	[L.1]
Manual Hydraulic Structures – ir. W.F. Molenaar et al.	Over ontwerpen van waterbouwkundige constructies	[L.2]
Inleiding Waterbouwkunde – K.G. Bezuyen et al.	Over ontwerpen van waterbouwkundige constructies	[L.3]
Introduction to Bed, bank and shore protection – G. J. Schiereck	Over ontwerp van bodembescherming	[L.4]
Toegepast Vloeistofmechanica – I. Nortier et al.	Over stroming van vloeistoffen	[L.5]
Experimental investigation of screens as energy dissipaters in submerged hydraulic jump	Over contractie coëfficiënten	[L.6]
https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/watertemperatuur/	Over watertemperaturen	[L.7]

2.2 Contractdocumenten

Document	Omschrijving	ref
029_ STRUCTUURONTWERP SLUIS 0	Betreffende de ontwerpnota	[C.1]
1920501-VO-DP-01_DEF	VO overzichtstekening	[C.2]
014_Geotechnisch grondonderzoek	Grondonderzoek	[C.3]
015_Hydrologische_analyse	Onderzoek over hydrologische analyse bij Sluis 0	[C.4]
SDB-0112-BRK	Damwanden verificatie	[C.5]
SDB-0207-MEM-niveleertijden	Nivelleertijd	[C.6]

2.3 Volgorde contract, normen en richtlijnen

Indien tegenstrijdigheid ontstaat tussen de eisen in de Vraagspecificatie, reglementen, Europese normen incl. Nationale Bijlagen, praktijkrichtlijnen, aanbevelingen, beoordelingsrichtlijnen, publicaties of andere van toepassing verklaarde documenten, dan geldt, in aanvulling op de rangorde die reeds in de Basisovereenkomst is aangebracht, onderstaande rangorde:

1. Eisen uit nota's, aanvullingen en contractwijzingen;
2. Eisen uit de vraagspecificatie;
3. Bindende documenten, waaronder referentieontwerp;
4. Generieke normen (bouwbesluit), richtlijnen, e.d.;
5. Informatieve documenten.

Indien er tegenstrijdigheden ontstaan tussen eisen uit contractdocumenten, dan dient de volgende rangorde aangehouden te worden:

1. Eisen uit nota's, aanvullingen en contractwijzingen;
2. Eisen uit de vraagspecificatie.

Indien normen en richtlijnen, genoemd in dit hoofdstuk onderling tegenstrijdig zijn geldt de volgende rangorde:

1. Uitgaven NEN/EC;
2. Uitgaven CUR, CROW en TAW/ENW en overige (daar waar deze meer specifiek zijn).

2.4 Eisen, uitgangspunten en randvoorwaarden

2.4.1 Eisen spuiwerk

De eisen volgen uit [C.1]

- Het Spuiwerk dient de afvoercapaciteit te kunnen afvoeren met een maximale afwijking van 5% (t.o.v. de gewenste m^3/s afvoer). [Eis 003]
- De minimale uitstroom en toepassing van het Spuiwerk benedenstrooms dient voorafgaand aan realisatie aangetoond te worden middels berekeningen en 3D simulatie. [Eis 026]
- Het Spuiwerk dient de afvoer capaciteit te kunnen afvoeren en regelen in stappen van 1 cm. [Eis 128]
- Het spuiwerk dient middels natuurlijk verloop/vrij verval de waterafvoer te kunnen realiseren (geen opvoerhoogtes). [Eis 136]
- De uit- en instroom en toepassing van het Spuiwerk beneden- en bovenstrooms dient zo ontworpen en gerealiseerd te worden dat kolken en stroming aan het beneden- en bovenhoofd tot een minimum worden beperkt. [Eis 305]
- Het Spuiwerk dient de piekafvoer capaciteit te kunnen afvoeren bij een verhang (tussen benedenhoofd en bovenhoofd) tot maximaal 2,5 m en bij een verhang van NAP + 5.15 m bovenstrooms en NAP + 4,90 m benedenstrooms (0,25 m. peilverschil). [Eis 022]
- Het Spuiwerk dient een piekafvoercapaciteit van minimaal $31\text{m}^3/\text{s}$ te kunnen afvoeren. [Eis 119]

2.4.2 Waterpeilen

Waterpeil benedenpand:		Waterpeil bovenpand:	
MHW	NAP + 4,90 m	MHW	NAP + 5,15 m
Streefpeil	NAP + 2,20 m	Streefpeil	NAP + 4,70 m
MLW	NAP + 2,00 m	MLW	NAP + 4,50 m

Waterpeil in sluis:

Onderhoudspeil NAP + 1,50 m (alleen in combinatie met streefpeil in het kanaal)

benedenpand		Sluis 0		bovenpand	
benedenhoofd bestaand		benedenhoofd	kolk	bovenhoofd	bovenhoofd bestaand
MHW = + 4.90			max. schutpeil = + 4.90		MHW = + 5.15
		deur		deur	streefpeil = + 4.70
streefpeil = + 2.20			min. schutpeil = + 2.00		MLW = ???
MLW = ???			onderhoud = + 1.50		
drempel = - 0.28		drempel = - 0.30	bodem = - 0.40	drempel = - 0.30	drempel + 0.31

Figuur 2. Waterpeilen rond Sluis 0 [C.1]

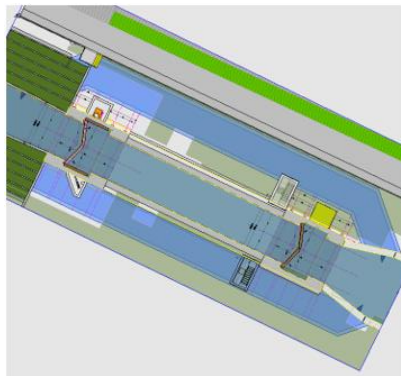
Op basis van de hierboven gepresenteerde data en de aanname dat de verschillende waterstandcategorieën aan weerszijde van de sluis gelijktijdig plaatsvinden, wordt een maximaal verhang gevonden ten tijde van het streefpeil, welke 2500 mm betreft. Een minimaal verhang vindt plaats bij MHW, welke 250 mm betreft.

3 Ontwerp van de constructies

Omloopriool / spuikanaal

Er dient een spuikanaal ontworpen te worden welke het water om Sluis 0 van bovenstrooms naar benedenstrooms niveau kan afvoeren. Hieronder zijn overzichtstekeningen gepresenteerd van de ontwerpprincipes van het object. De spuikanalen worden ontworpen met een breedte van 4500 mm en een hoogte van 2000 mm. Met een lengte van omstreeks 62 meter en bochten bestaande uit 6 knikken van 5 graden (totaal 30 graden), zal het water van bovenstrooms naar benedenstrooms gebracht worden.

Het systeem zal bestaan uit twee symmetrische, volledig begraven tunnels welke aan weerszijde van de sluis het water afvoeren. In beide kanalen zal er een schuif geïnstalleerd worden, welke het debiet regelt. Door een V-vormige drempel voor de klep te realiseren kunnen kleine debieten goed geregeld worden.



Figuur 3. Ontwerpprincipes van spuikanaal [C.2].

Bodembescherming

De bodembescherming dient ook ontworpen te worden, welke de bodem beschermt tegen belasting door spuien, schutten en schepen. Het ontwerp hiervan staat beschreven in het desbetreffende hoofdstuk, hieronder wordt een tekening gepresenteerd van het ontwerp gepresenteerd in deze rapportage

Brug	Benedenstrooms	Sluis 0	Bovenstrooms	Brug
	bodemniveau			
	Stortsteen categorie 5 - 40 kg, dikte = 400 mm	Stortsteen categorie 5 - 40 kg, dikte = 400 mm	Stortsteen categorie 90 / 180 mm, dikte = 270 mm	
	Geotextiel onder beschreven voorwaarden	Geotextiel onder beschreven voorwaarden	Geotextiel onder beschreven voorwaarden	
	Zand ondergrond	Zand ondergrond	Zand ondergrond	

Figuur 4. Opbouw van de bodembescherming aan weerszijde van de sluis inclusief laagdiktes.

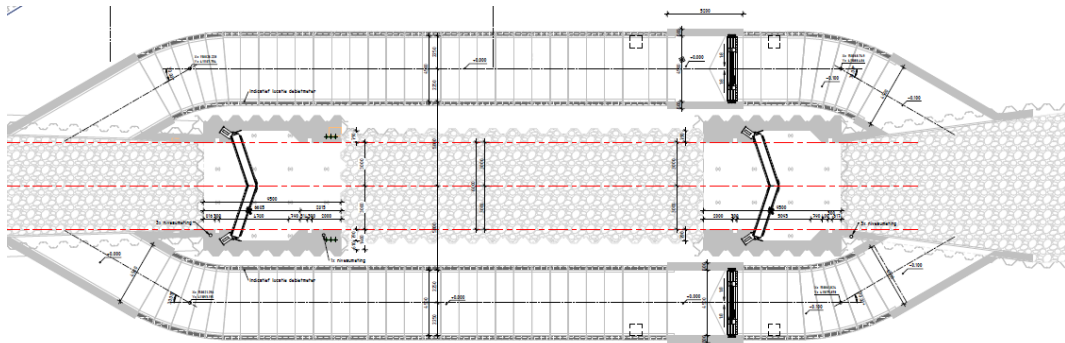
Kwelscherm

Ten slotte dient er een kwelscherm ontworpen te worden welke kwelstroming onder het sluishoofd door limiteert tot een acceptabele stroomsnelheid welke de piping-toets doet voldoen. Het ontwerp hiervan wordt gecombineerd met de gebruikte damwanden, welke nader uitgewerkt zijn in het desbetreffende rapport [C.5]. De kwelroutes worden uitgewerkt in hoofdstuk 6.

4 Berekening spuikanalen

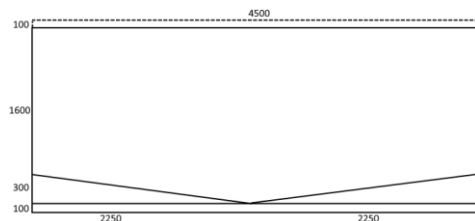
4.1 Spuikanaal afmetingen

De spuikanalen worden uitgevoerd middels twee 62 meter lange kokers welke 2 meter hoog zijn en 4,5 meter breed. De krommingen, zoals hieronder afgebeeld, zijn een veelvoud van hoeken van 5 graden, de totale hoek is 30 graden.



Figuur 5. Overzichtstekening van Sluis 0.

De drempel bij de klep zal V-vormig zijn, waarbij de hoogte rijkt tot 300 mm. Daarnaast zal er een sprong plaatsvinden in het stromingsprofiel van 100 mm. Dit is ten behoeve van het puin dat hiermee gestopt wordt.



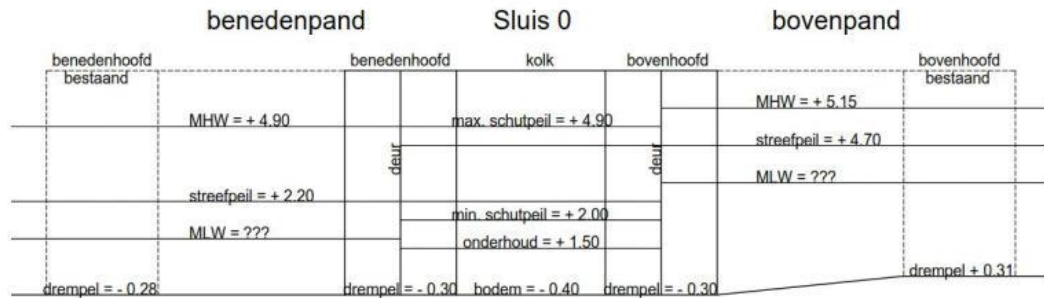
Figuur 6. Doorsnede met drempel en sprong bij klep.

4.2 Stijghoogten

Op basis van de eisen gepresenteerd in hoofdstuk 2 en het gegeven dat het debiet een positieve relatie heeft met het verschil in stijghoogte aan weerszijde van de sluis, moet de vereiste $31 \text{ m}^3/\text{s}$ afgevoerd kunnen worden onder het meest minimale stijghoogteverschil.

Voor MHW is dit waterstandsverschil 250 mm, terwijl dit voor het streefpeil 2500 mm is. Daarom zal gerekend worden met de MHW waterstanden om de gewenste debiet te kunnen realiseren.

De stijghoogte hier gebruikt, wordt berekend met onderstaande vergelijking. Vervolgens is het niveau berekend voor zowel het bovenpand als het benedenpand van de sluis, waar de elementen bij de waterspiegel beschouwd zijn. Daarmee is de druk (P), gelijk aan 0. Voor de breedte van de waterwegen is een conservatieve afschatting gemaakt, op basis van de reeds beschikbare tekeningen.



Figuur 7. Waterpeilen

	Waterdiepte (H)	Waterbreedte 100 m voor en na sluis (B)
Bovenpand	4,84 m	45 m
Benedenpand	5,18 m	18 m

$$h = y + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

met

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot H}$$

$$h_1 = y + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{\left(\frac{Q}{B \cdot H}\right)^2}{2 \cdot g} = 5,15 \text{ m} + 0 \text{ m} + \frac{\left(\frac{31 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{45 \text{ m} \cdot 4,84 \text{ m}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 5,15 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0 \text{ m} = 5,15 \text{ m}$$

$$h_2 = y + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{\left(\frac{Q}{B \cdot H}\right)^2}{2 \cdot g} = 4,90 \text{ m} + 0 \text{ m} + \frac{\left(\frac{31 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{18 \text{ m} \cdot 5,18 \text{ m}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \approx 4,90 \text{ m} + 0 \text{ m} + 0 \text{ m} = 4,90 \text{ m}$$

$$\Delta h = h_1 - h_2 = 5,15 \text{ m} - 4,90 \text{ m} = 0,25 \text{ m}$$

In beide berekeningen blijkt dat alleen invloeden van de waterstand een significante rol spelen in de stijghoogte. Hieruit volgt dat het stijghoogte verschil gelijk is aan het waterstandverschil: 0,25 m.

4.3 Energieverliezen, stroomsnelheid en debiet

De energieverliezen worden samengevat in de volgende categorieën, welke vervolgens in de paragrafen hieronder gekwantificeerd worden:

- Inlaatverlies $\xi_{\text{in}} = 0,20$
- Uitlaatverlies $\xi_{\text{uit}} = 1,00$
- Bochtverlies $\xi_{\text{bo}} = 0,12$
- Wrijvingsverlies $\xi_{\text{wr}} = 0,25$

- Klepverlies $\xi_{\text{klep}} = 0,04$
- Hekwerkverlies $\xi_{\text{hek}} = 0,04$

Alle verliezen zijn uitgedrukt in termen van ξ , welke als sommatie fungeren in onderstaande formule tot berekenen en verifiëren van de overschrijding van het minimale ontwerpdebiet:

$$Q = A \cdot v = (n_k \cdot H_k \cdot B_k) \cdot \sqrt{\frac{\Delta h \cdot 2 \cdot g}{\xi_{\text{tot}}}}$$

$$= (2 \cdot 2 \text{ m} \cdot 4,5 \text{ m}) \cdot \sqrt{\frac{0,25 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{1,65}} = 31,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

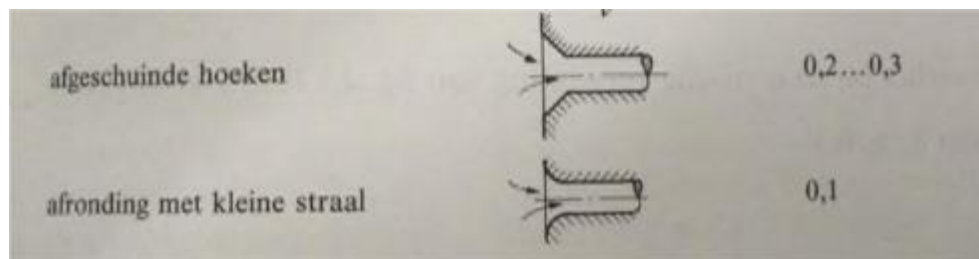
Hierin is de stroomsnelheid dus:

$$v = \sqrt{\frac{\Delta h \cdot 2 \cdot g}{\xi_{\text{tot}}}} = \sqrt{\frac{0,25 \text{ m} \cdot 2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}{1,65}} = 1,73 \text{ m/s}$$

Alle verliesfactoren zijn conservatief aangenomen, opdat de $31 \text{ m}^3/\text{s}$ bereikt wordt. In realiteit kan het zo zijn dat bij het minimale waterstandsverschil er een groter debiet gerealiseerd kan worden. Dit is eveneens het geval wanneer er een groter waterstandsverschil aanwezig is en de klep volledig wordt geopend. Het is van belang dat de $31 \text{ m}^3/\text{s}$ niet overschreden wordt ten behoeve van de bodembescherming aan weerszijde van het kunstwerk.

4.3.1 Inlaatverlies

De inlaatverliezen kunnen worden afgeschat op basis van de hieronder gepresenteerde data.



Figuur 8. Inlaatverliezen bij verschillende ontwerpen [L.5]

Description	Sketch	Additional Data	K	Source
Pipe entrance		r/d	K_e	(10) ⁷
$h_L = K_e V^2 / 2g$		0.0	0.50	
		0.1	0.12	
		>0.2	0.03	

Figuur 9. Inlaatverliezen bij rondingen [L.1]

Aangezien het water vanuit een 45 meter brede vaarweg langzaam wordt versneld naar de spuikanalen, is de afgeschuinde hoek in het bovenste figuur de beste representatie. In de afbeelding wordt gewerkt met een hoek van 45 graden, terwijl dit in de beschouwde case veel meer geleidelijk zal gaan. Ten eerste zal het in de waterweg onder de brug bovenstrooms van de sluis al langzaam vernauwen naar een breedte van om en nabij 10 meter, waarna vervolgens de

inlaat zich onder hoek van 30 graden bevindt. Vanwege deze twee gunstige factoren zal de factor 0,2 een accurate doch conservatieve waarde geven.

$$\xi_{in} = 0,20$$

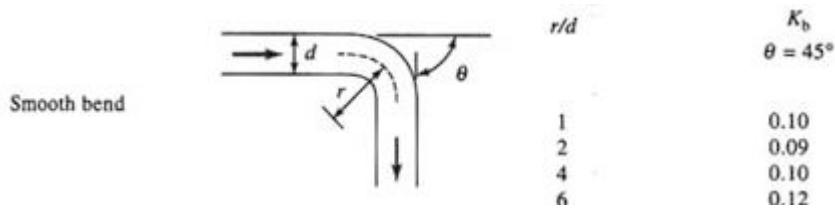
4.3.2 Uitlaatverlies

Bij uitstroom naar grote wateren zal het water al haar energie verliezen, daarmee is de verliesfactor maximaal gelijk aan 1.

$$\xi_{uit} = 1,00$$

4.3.3 Bochtverlies

De twee hoeken per buis worden beide uitgevoerd met een bocht van 30°, welke bestaat uit een veelvoud van knikken van 5 graden. Bij gebrek aan literatuur betreffende kleine knikken, wordt de reeks knikken beschouwd als een bocht. Op basis van onderstaande tabel is het verlies daarmee vastgesteld op 0,06 per bocht. Dit is een conservatieve waarde omdat het effect van de bocht meer effect heeft op een ronde buis (zoals is gebruikt voor de experimenten welke resulteerden in onderstaande tabel) dan dat de bocht op een horizontaal dominante rechthoek heeft. De gepresenteerde data gaat over bochten van 45 graden, de gebruikte bocht van 30 graden is hier lineair aan geschaald (met $r/d=2$), wat een conservatieve benadering geeft.



Figuur 10. Knikverliezen als functie van knikhoek [L.2]

$$\xi_{bo} = 0,06$$

4.3.4 Wrijvingsverlies

De wrijving wordt meegenomen met behulp van Moody's diagram op de volgende pagina. Voordat deze gebruikt kan worden, dient eerst de hydraulische diameter van de constructie berekend te worden. Hierin is meegenomen dat het spuikanaal volledig gevuld is tijdens alle mogelijke waterstanden.

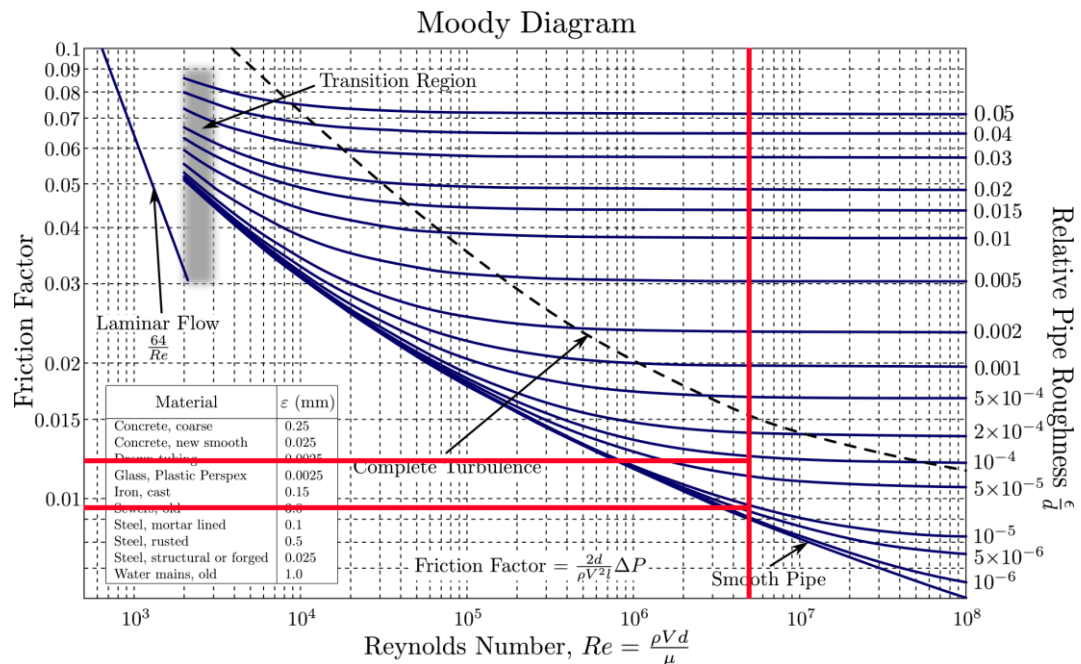
$$D_H = \frac{2 \cdot B \cdot H}{B + H} = \frac{2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m}}{4,5 \text{ m} + 2,0 \text{ m}} = 2,77 \text{ m}$$

Deze hydraulische diameter wordt vervolgens gebruikt voor de relatieve ruwheid. Beton heeft typisch ruwheid waarden tussen de 0,25 mm en 0,025 mm, zoals in onderstaand diagram te vinden is. Hoewel het beton afgewerkt dient te worden opdat het glad is, wordt ten behoeve van een conservatieve berekening wordt een waarde van 0,1 mm gebruikt.

$$r = \frac{\epsilon}{D_H} = \frac{0,0001}{2,77 \text{ m}} = 3,6 \cdot 10^{-5}$$

Ten slotte is het Reynolds getal nodig, welke hieronder vastgesteld wordt:

$$Re = \frac{v_s \cdot D_H}{\mu} = \frac{\frac{Q}{n_k \cdot B_k \cdot H_k} \cdot D_H}{\mu} = \frac{\frac{31 \text{ m}^3/\text{s}}{2 \cdot 4,5 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m}} \cdot 3,08}{10^{-6}} = 5 \cdot 10^6$$



Figuur 11. Moody's diagram met boven- en ondergrens. (Bron: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moody_EN.svg)

Met behulp van Moody's diagram is de het wrijvingsgetal vastgesteld op 0,011. Het verlies in het 62 meter lange kanaal kan nu bepaald worden met:

$$\xi_{wr} = f \cdot \frac{L}{D_H} = 0,011 \cdot \frac{62 \text{ m}}{2,77 \text{ m}} = 0,25$$

$$\xi_{wr} = 0,25$$

4.3.5 Objectverlies door schuif

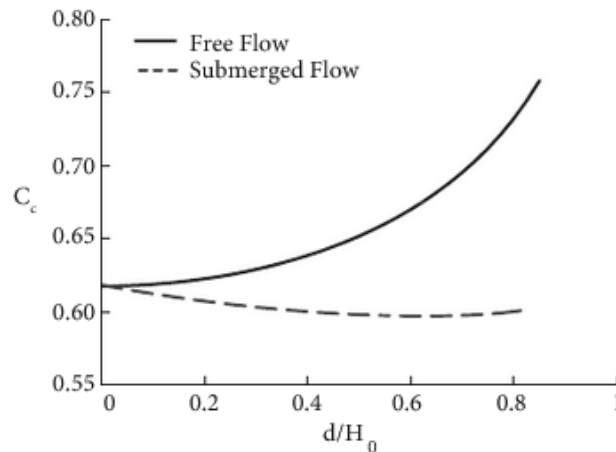
De verhoging bij de klep welke de regelbaarheid bevordert vormt een obstakel voor de doorstroming bij volledige opening van de klep. Daarnaast wordt er extra doorstroming geblokkeerd als de klep partieel geopend is. De bijbehorende reductie coëfficiënt kan bepaald worden met:

$$C_r = \frac{A_{open}}{A_{spuikanaal}} = \frac{A_{open}}{4,5 \text{ m} \cdot 2 \text{ m}}$$

Bij het huidige ontwerp geeft een volledig openstaande klep een reductiecoëfficiënt van 0,125, door de combinatie van de verspringing in het profiel (0,05, 10 cm sprong t.o.v. 2 m hoge constructie) en de aanwezige drempel (0,075). Verder zal een volledig openstaande klep een contractie coëfficiënt hebben van conservatief 0,95. Een perfect gestroomlijnde overgang zal tot een coëfficiënt gelijk aan 1,0 leiden, welke uiteraard nooit geheel bereikt wordt. Een deels

gesloten klep zal de contractie coëfficiënt doen verkleinen, welke rijkt tot conservatief 0,55 bij kleine openingen (zie onderstaande afbeelding). Onderstaande relatie zal gebruikt worden, waarin 'p' de openingsratio is en deze lineair als functie wordt gebruikt tussen de twee extremen: volledig open en volledig gesloten.

$$C_c = 0,55 + 0,4 \cdot p$$



Figuur 12. Contractie coëfficiënt onder een klep door bij kleine opening [L.6]

De verliezen voor een volledig openstaande klep kunnen nu berekend worden met onderstaande vergelijking [L.5]:

$$\xi_{contractie} = \left(\frac{A_{tot}}{A_{stroming}} - 1 \right)^2$$

$$\xi_{klep} = \left(\frac{A_k}{C_c \cdot (1 - C_r) * A_k} - 1 \right)^2 = \left(\frac{1}{0,95 \cdot (1 - 0,125)} - 1 \right)^2 = 0,04$$

$$\xi_{klep} = 0,04$$

4.3.6 Objectverlies te hekwerk

Het hekwerk bij de ingang van de spuikanalen zal ook disruptief zijn voor de doorstroming in het spuikanaal. Deze worden gekwantificeerd met een doorstroomreductie coëfficiënt van 0,075 en een contractie coëfficiënt van 0,9. Deze getallen zijn aangenomen om het nog niet-gedimensioneerde object in rekening te brengen. Het hekwerkverlies kan bepaald worden met dezelfde contractievergelijking, hieronder uitwerkt. Ten tijde van het schrijven van deze rapportage wordt er getwijfeld over het toepassen van een krooshek. Indien dit niet gebeurt is deze debietsbepaling lichtelijke conservatief.

$$\xi_{hek} = \left(\frac{A_k}{C_c \cdot (1 - C_r) * A_k} - 1 \right)^2 = \left(\frac{1}{0,9 \cdot (1 - 0,075)} - 1 \right)^2 = 0,04$$

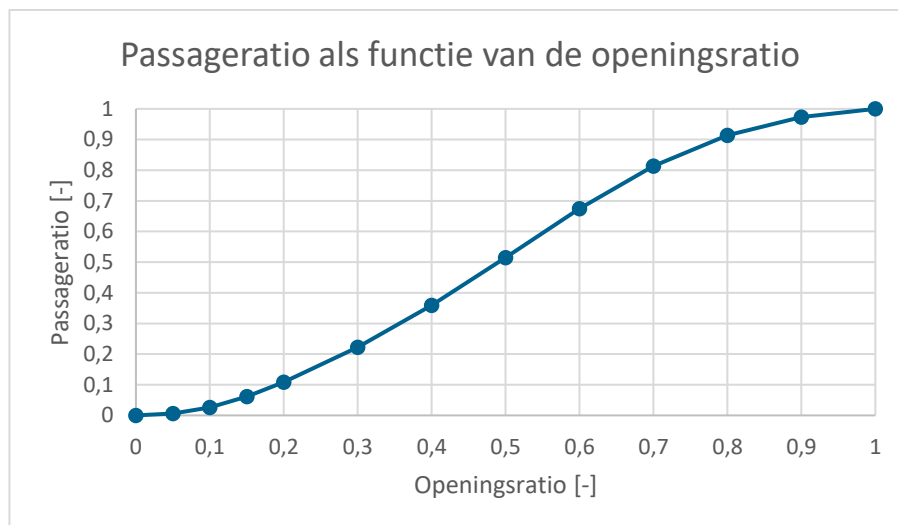
$$\xi_{hek} = 0,04$$

4.4 Passageratio als functie van waterstandsverschil en openingsratio

Bij afwijkende waterstanden van wat in het hydrologisch berekeningsrapport wordt berekend, zal de passageratio afgeschat kunnen worden middels volgende vergelijking:

$$p \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{\Delta h_{ber}}} = \sqrt{\frac{\Delta h}{0,25 \text{ m}}}$$

Dit betekent dat een waterstandsverschil van 1 meter, ongeveer twee maal het debiet kan realiseren dat geëist is voor een waterstandsverschil van 0,25 meter. Door het openingspercentage van de klep te wijzigen, kan hiervoor gecompenseerd worden. Door de effecten van de partiele opening te verwerken in de klepverlies, kan de uitvoer berekend worden ten opzichte van de maximale openingsstand. De resultaten hiervan zijn hieronder weergegeven. De grafiek dient ter indicatie en openingratios zullen gekalibreerd moeten worden wanneer het ontwerp gerealiseerd is, omdat de vele onzekerheden en afschattingen verschillen kunnen geven in wat hier gepresenteerd is. Daarnaast worden bij lagere waterstanden, met name benedenstrooms, de bruggen invloedrijker op het stroomprofiel. Debietmeters zijn daarom nodig om de passageratio's exact te kunnen bepalen. Deze paragraaf fungeert als initieel handvat.



Figuur 13. Passageratio als functie van de openingsratio van de klep ten opzichte van de maximale openingsstand, berekend bij waterstandsverschil van 25cm.

4.5 Praktische handleiding voor de bepaling van de openingshoogte

Het debiet is afhankelijk van twee variabelen: het waterstandsverschil en de openingsratio van de klep. Bij een waterstandsverschil van 25 cm is bovenstaande grafiek direct afleesbaar om gegeven een gewenste passageratio een openingsratio te bepalen. Bij andere waterstandsverschillen neemt het debiet toe en dient de klep verder gesloten te worden. Bovenstaande grafiek kan hiervoor nog steeds gebruikt worden, echter dient de afgelezen passageratio geschaald te worden door gebruik van de gepresenteerde formule. Hieronder zal een tabel gepresenteerd worden waarbij voorbeelden uitgewerkt zijn, voor verschillende

waterstanden en gevraagde debieten kan vervolgens de openingsstand uitgelezen worden.
Bijlage 2 bevat een uitgebreidere variant van onderstaande tabel.

Debiet [m ³ /s]	Waterstandsverschil [m]									
Openingshoogte [m]	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
0,05	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
0,15	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5
0,2	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6
0,3	1,9	2,7	3,3	3,8	4,3	4,7	5,1	5,4	5,8	6,1
0,4	3,4	4,9	5,9	6,9	7,7	8,4	9,1	9,7	10,3	10,9
0,5	5,2	7,3	8,9	10,3	11,6	12,7	13,7	14,6	15,5	16,3
0,6	7,0	9,9	12,1	14,0	15,7	17,2	18,5	19,8	21,0	22,2
0,7	9,1	12,9	15,8	18,2	20,4	22,3	24,1	25,8	27,3	28,8
0,8	11,3	16,0	19,6	22,7	25,3	27,7	30,0	32,0	34,0	35,8
0,9	13,7	19,4	23,8	27,5	30,7	33,7	36,4	38,9	41,2	43,5
1	16,2	22,9	28,1	32,4	36,2	39,7	42,9	45,8	48,6	51,2
1,2	21,1	29,9	36,6	42,3	47,3	51,8	55,9	59,8	63,4	66,9
1,4	25,5	36,0	44,1	50,9	56,9	62,4	67,4	72,0	76,4	80,5
1,6	28,5	40,3	49,4	57,1	63,8	69,9	75,5	80,7	85,6	90,2
1,8	30,4	42,9	52,6	60,7	67,9	74,4	80,3	85,9	91,1	96,0
1,9	31,0	43,8	53,7	62,0	69,3	75,9	82,0	87,7	93,0	98,0

Ter illustratie: bij een gewenst debiet van 15 m³/s en een waterstandsverschil van 1,5 m, zal een openingshoogte van circa 55 cm gecreëerd moeten worden.

Let op: deze waarden dienen slechts als startpunt en zullen gekalibreerd moeten worden.
Stroomsnelheden onder de schuif zullen rijken tot 7 m/s.

5 Berekening bodembescherming

5.1 Bovenstroomse belasting door spuikanalen

Bovenstrooms wordt het water versneld tot een snelheid van 1,72 m/s (31 m³/s bij gebruik van twee kanalen), opdat het gewenste debiet door de spuikanalen stroomt. Hierbij is door de abrupte vorm van de inlaten een verergerde vorm van turbulentie, welke gecombineerd leidt tot een steenklassen conform EN-13383 van 90 / 180 mm. Deze laag zal een dikte moeten hebben van twee maal de D_{n50}. Dit leidt tot een minimale laagdikte van 263 mm, welke omhoog wordt afgerond naar 270 mm.

Bodembescherming conform methode Pilarczyk			
Input gegevens		Output gegevens	
Stabiliteitsfactor	Φ_{sc}	Randen van steenbestorting	1,50 [-]
Dichtheid steen	ρ_s		2600 [kg m ⁻³]
Dichtheid water	ρ_w		1000 [kg m ⁻³]
Kritische mobiliteitsparameter	Ψ_{sc}	Stortsteen	0,035 [-]
Water diepte	h		2,53 [m]
Snelheidsprofiel factor	k_b	Onvolledig ontwikkeld profiel	0,54 [-]
Hoek van zijtalud	α		0,0 [°]
Hoek van invendige wrijving stortsteen	ϕ		35,0 [°]
Hoek van talud in lengterichting	β		0,0 [°]
Turbulentie factor	k_t	Verergerde turbulentie; Flaune buitenbochten	1,22 [-]
Diepte-gemiddelde stroomsnelheid	U		1,78 [m s ⁻¹]
Zwaartekrachtversnelling	g		9,81 [m s ⁻²]
		Term voor zijtalud	k_{s1}
		Term voor langstalud	k_{s2}
		Zijtalud factor	k_{s3}
		Benodigde steendiameter	D ₅₀
		Benodigd steengewicht	M ₅₀
		Ruwheidshoogte	k_s
		Relatieve dichtheid	Δ
		Steenklasse conform EN-13383	90 / 180 mm

Zowel hierboven als in de volgende sectie wordt gebruik gemaakt van steenbestorting (dichtheid omstreeks 2600 kg per m³). Bovenstrooms is er een onvolledig ontwikkeld profiel met verergerde turbulentie aanwezig zijn, vanwege de bochten in het stroomprofiel door de inlaten aan weerszijde. Benedenstrooms zal dit zware turbulentie zijn, vanwege het uitstorten van het volledige debiet.

5.2 Benedenstroomse belasting door spuikanalen

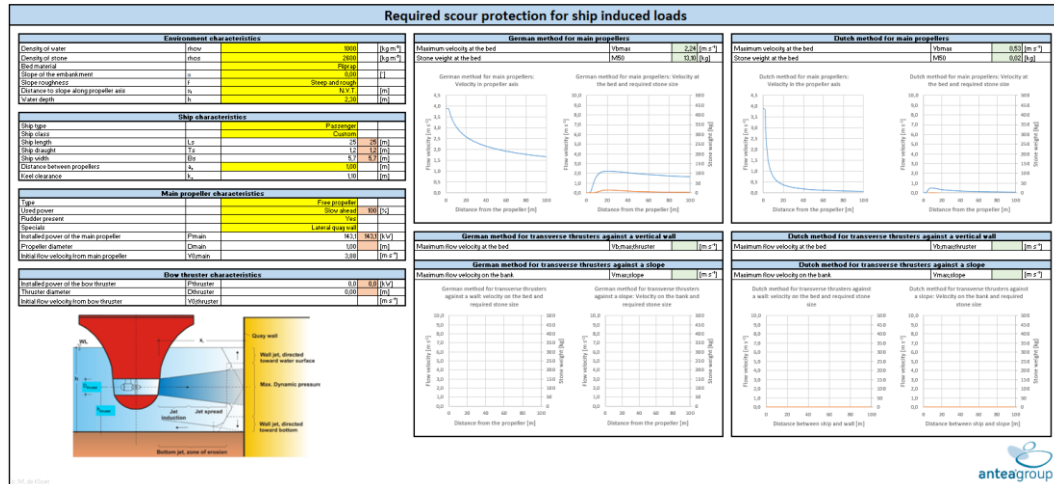
Benedenstrooms, waar zware turbulentie zal optreden, zal volgens dezelfde werkwijze rekening gehouden moeten worden met steenklasse 5 - 40 kg. Ook deze laag zal een dikte moeten hebben van minimaal anderhalf maal de D_{n50}. De laag wordt daarmee 400 mm dik.

Bodembescherming conform methode Pilarczyk			
Input gegevens		Output gegevens	
Stabiliteitsfactor	Φ_{sc}	Randen van steenbestorting	1,50 [-]
Dichtheid steen	ρ_s		2600 [kg m ⁻³]
Dichtheid water	ρ_w		1000 [kg m ⁻³]
Kritische mobiliteitsparameter	Ψ_{sc}	Stortsteen	0,035 [-]
Water diepte	h		2,53 [m]
Snelheidsprofiel factor	k_b	Onvolledig ontwikkeld profiel	0,58 [-]
Hoek van zijtalud	α		0,0 [°]
Hoek van invendige wrijving stortsteen	ϕ		35,0 [°]
Hoek van talud in lengterichting	β		0,0 [°]
Turbulentie factor	k_t	Zware turbulentie; Scherpe buitenbochten	1,44 [-]
Diepte-gemiddelde stroomsnelheid	U		1,78 [m s ⁻¹]
Zwaartekrachtversnelling	g		9,81 [m s ⁻²]
		Term voor zijtalud	k_{s1}
		Term voor langstalud	k_{s2}
		Zijtalud factor	k_{s3}
		Benodigde steendiameter	D ₅₀
		Benodigd steengewicht	M ₅₀
		Ruwheidshoogte	k_s
		Relatieve dichtheid	Δ
		Steenklasse conform EN-13383	5 - 40 kg

5.3 Belasting door maatgevend schip bovenstrooms, benedenstrooms en in kolk

Voor de berekening van de invloed van de schepen is rekening gehouden met de "Ouwe Dirk", zoals is voorgeschreven in eis 16. Er wordt hierbij aangenomen dat de schepen rustig wegvaren. Het resultaat hiervan is dat bovenstrooms de waterdiepte genoeg is opdat er geen bodembescherming nodig is. Benedenstrooms waar de waterdiepte substantieel minder is, zijn stenen met een M50 van 13,1 kg nodig. Omdat in sectie 5.2 zwaardere stenen zijn berekend,

heeft deze berekening geen invloed op de bodembescherming benedenstrooms. In de kolk zal dit wel effect hebben, en zal er een steenklasse 5 – 40 kg met een laagdikte van 40 cm voldoen.



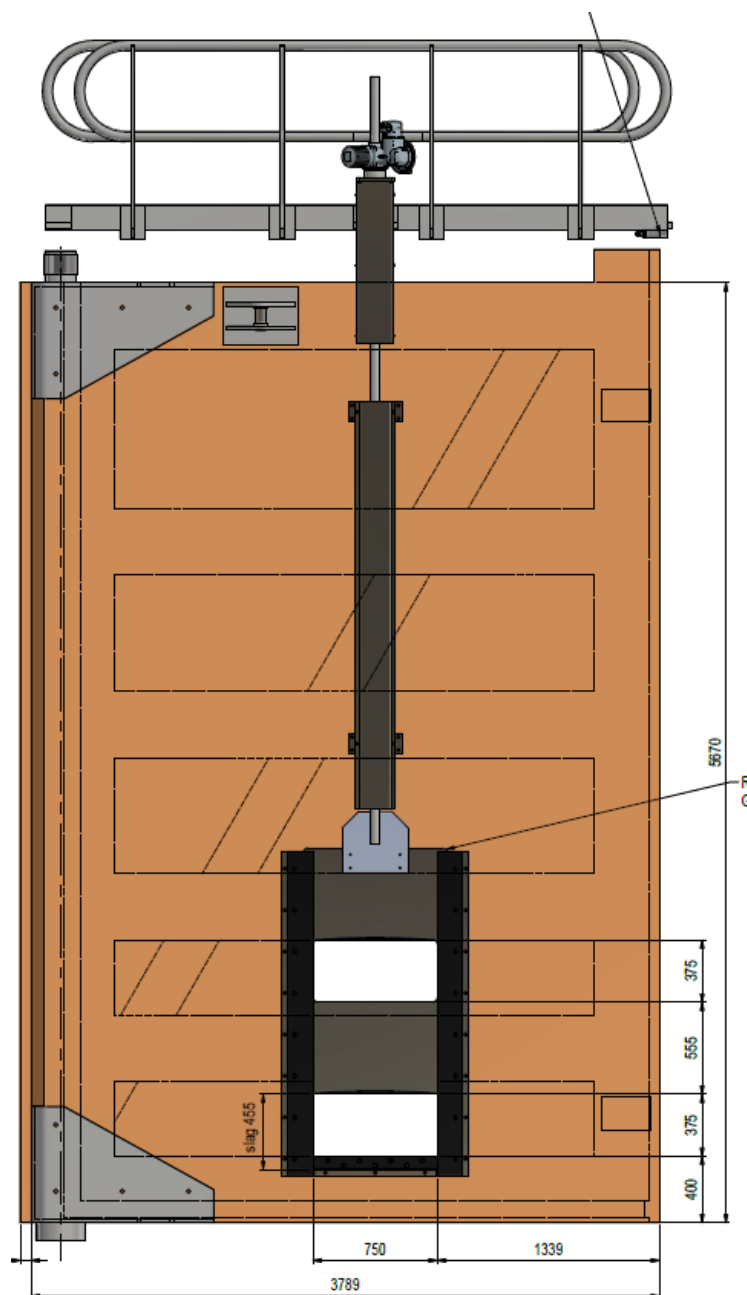
5.4 Schutten

Vanuit [C.6] is gegeven dat het maximale schutdebiet gelijk is aan 3 m³/s. Dit is aanzienlijk minder dan het spuidebiet van 31 m³/s. Bovendien bevindt zich aan weerszijde van de sluisdeuren zich nog meerdere meters (3,5 m bovenstrooms in de kolk, 2 m benedenstrooms van de sluis) een betonnen vloer en zal de bodembescherming niet direct belast worden. Wanneer wordt aangenomen dat het water zich benedenstrooms van de twee schutkleppen zich evenredig in alle richtingen verbreedt (behalve de interactie laag tussen de twee kleppen in) en het gegeven dat de onderste klep zich minimaal 400 mm boven de grond bevindt, kan de volgende berekening gemaakt worden. Zie voor verduidelijking de afbeelding op de volgende pagina.

$$u = \frac{Q}{(B + 2 \cdot B_{\text{verbreiding}}) \cdot (n_{sk} \cdot H + 2 \cdot H_{\text{verhoging}} + a_{\text{tussen}})} = \frac{3 \text{ m}^3/\text{s}}{(0,75 \text{ m} + 2 \cdot 0,4 \text{ m}) \cdot (2 \cdot 0,375 + 2 \cdot 0,4 \text{ m} + 0,555 \text{ m})} = 0,83 \text{ m/s}$$

Deze snelheden zijn dermate laag dat er geen bodembescherming nodig is.

Bodembescherming conform methode Pilarczyk			
Input gegevens			
Stabiliteitsfactor	Φ_{sc}	Randen van steenbestorting	1,50 [-]
Dichtheid steen	ρ_s		2600 [kg m ⁻³]
Dichtheid water	ρ_w		1000 [kg m ⁻³]
Kritische mobiliteitsparameter	Ψ_{cr}	Stortsteen	0,039 [-]
Water diepte	h		2,53 [m]
Snelheidsprofiel factor	k_s	Onvolledig ontwikkelde profiel	0,40 [-]
Hoek van zijtalud	α		0,0 [°]
Hoek van invendige vrijvrijing stortsteen	ϕ		35,0 [°]
Hoek van talud in lengterichting	β		0,0 [°]
Turbulentie factor	k_t	Zware turbulentie, scherpe buitenbochten	1,41 [-]
Diepte gemiddelde stroomsnelheid	U		0,83 [m s ⁻¹]
Zwaartekrachtversnelling	g		9,81 [m s ⁻²]
Output gegevens			
Term voor zijtalud	k_{s1}		1,00 [-]
Term voor langtalud	k_{s2}		1,00 [-]
Zijtalud factor	k_{s3}		1,00 [-]
Benodigde steendiameter	D_{50}		0,026 [m]
Benodigd steengewicht	M_{50}		0,09 [kg]
Ruwheidshoogte	k_s		0,11 [m]
Relatieve dichtheid	Δ		1,60 [-]
Steenklasse conform EN-13383			HN/B



Figuur 14. Ontwerp sluisdeur [C.6]

5.5 Filterlagen

Er zijn geen filterlagen nodig indien er een geotextiel wordt toegepast. Vanwege het formaat van de stenen wordt dit aanbevolen.

5.6 Geotextiel

Om zowel bovenstrooms als benedenstrooms en in de kolk de stabiliteit te waarborgen is een geotextiel nodig. De massa van het geotextiel per vierkante meter wordt bovenstrooms en benedenstrooms berekend met:

$$m_{a,boven} > C_s \cdot \sqrt{H_{stort}} \cdot D_{85} = 1,2 \cdot \sqrt{5,5 \text{ m}} \cdot 0,20 \text{ m} = 0,56 \text{ kg/m}^2$$

$$m_{a,beneden} > C_s \cdot \sqrt{H_{stort}} \cdot D_{85} = 1,2 \cdot \sqrt{5,5 \text{ m}} \cdot 0,50 \text{ m} = 0,82 \text{ kg/m}^2$$

$$m_{a,kolk} > C_s \cdot \sqrt{H_{stort}} \cdot D_{85} = 1,2 \cdot \sqrt{5,5 \text{ m}} \cdot 0,50 \text{ m} = 0,82 \text{ kg/m}^2$$

Hierin wordt de constante gezet op 1,2 omdat geen schade gewenst is, wordt de 85^e percentiel van het stortmateriaal van in de gepresenteerde stortsteencategorieën (5-40 kg en 90/180 mm) gebruikt en wordt de storthoogte gelijk gesteld aan de storthoogte bij de hoogste waterstand.

Technische specificatie		Norm
1 Algemene eisen		
a.	De afzonderlijke banen geotextiel moeten ten minste 5,00 [m] breed zijn met een maximale afwijking van +/- , en een maximale variatie per rollente van 0,05 [m].	
b.	Aan het PP geotextiel dienen antioxidanten toegevoegd te zijn zodat de minimale levensduur 50 jaar is. De minimale levensduur moet aangetoond worden door middel van een beoordeling door een daartoe gecertificeerd instituut, op basis van extrapolatie van testresultaten bij verschillende temperaturen. Het kan, in overeenstemming met EN-NEN-13253, 13254, 13255, ook aangetoond worden met een Declaration of Performance (DoP) afgegeven door de producent op basis van een screeningstest volgens EN ISO 13438 (2015), at.. B.	EN ISO 13438 att. B (2015), EN-NEN-13253, 13254, 13255, Durability
2 Eisen geotextiel		
a.	De treksterkte bij breuk, zowel in de lengte- als dwarsrichting, dient in geval van een weefsel minimaal 35 [kN m ⁻¹] te zijn. In geval een vlies toegepast wordt dient de treksterkte bij breuk in 2 richtingen minimaal 15 [kN m ⁻¹] te zijn.	EN ISO 10319
b.	De rek bij breuk, zowel in de lengte- als de dwarsrichting, dient groter te zijn dan 60%.	EN ISO 10319
c.	De karakteristieke openingsgrootte (O ₉₀) dient kleiner te zijn dan 0,120 [mm] en groter dan 0,075 [mm].	EN ISO 12956
d.	De waterdoorlatendheid (k-waarde) dient groter te zijn dan 10 ⁻³ [m s ⁻¹].	EN ISO 11058
e.	De reststerkte na 50 jaar, rekening houdend met een RF _{ID} van 1,5 en een RF _{CH} van 1,3, dient minimaal 50% te zijn van de kortste duursterkte (indexwaarde).	EN ISO 10319
3 Extra eisen bij toepassing in een zinkstuk		
a.	In geval het geotextiel d.m.v. een zinkstuk of kraagstuk aangebracht wordt, geldt tijdens het transport en de afzinkfase als additionele eis dat bij een treksterkte van 15 [kN m ⁻¹] (vliezen) en 35 [kN m ⁻¹] (PP bandjes weefsel of composiet) in de hoofdtrekrichting een rek van maximaal 20% mag optreden.	EN ISO 10319
b.	Bij toepassing van een zinkstuk moet de EAL-waarde van het geotextiel maximaal 3,5 [kJ m ⁻²] zijn.	
c.	Bij toepassing van een composiet (weefsel met daarop een vlies) moet het gewicht van het vlies meer dan 560 en 820 gram per vierkante meter zijn voor respectievelijk bovenstrooms en benedenstrooms	
d.	De touwen waarmee het geotextiel aan het zink- of kraagstuk wordt verbonden, mogen niet door gaten in het vlies gestoken worden.	(CUR Aanbeveling 115:2011)

Tabel 5.1: Eisen geotextiel

5.7 Inscharingslengte

De inscharingslengte wordt bepaald door met onderstaande berekening, waarbij is vastgesteld dat de inscharingslengte van de bodembescherming (afgerond) 32 meter betreft na het einde van de brug aan de benedenstroomse zijde. Omdat bovenstrooms de turbulentie significant

minder is, volstaat een inschарingslengte van 24 m. In beide berekening (gebaseerd op de werkwijzer waterkerende kunstwerken) wordt gebruik gemaakt van de fijne, zanderige ondergrond. Dit wijkt iets af van de kwelberekeningen, waar is uitgegaan van korrelig zand. Deze afwijking is gedaan omdat dit voor beide berekeningen een waarde geeft aan de veilige kant. De sonderingen gepresenteerd in [C.3] geven een indicatie tussen de twee classificaties in. De watertemperatuur (welke relatief weinig invloed heeft) is uitgelezen uit [L.7]. Ten slotte zijn de scheepskarakteristieken overgenomen uit de "Oude Dirk", waarbij de stroomsnelheid uit de schroef volgt uit de berekening in sectie 5.3.

Benedenstrooms:

Inscharingslengte bodembescherming onder stromingsbelasting

Karakteristieken omgeving		
Breedte uitstroombening	B_1	6,0 [m]
Maximale breedte kanaal	B_2	18,0 [m]
Waterdiepte	h	2,53 [m]
Dichtheid bodemmateriaal	ρ_s	2600 [kg m ⁻³]
Dichtheid water	ρ_w	1000 [kg m ⁻³]
Watertemperatuur	θ	30,0 [°C]
Zwaartekrachtversnelling	g	9,81 [m s ⁻²]
Relatieve dichtheid	Δ	1,6 [-]
Hydraulische straal uitstroombening	R	1,37 [m]
Kinematische viscositeit	ν	8.00E-07 [m ² s ⁻¹]

Karakteristieken stroming		
Stroomsnelheid in uitstroombening	u_0	2,250 [m ² s ⁻¹]
Snelheid bij einde bodembescherming	U_b	0,846 [m s ⁻¹]
Breedte stroming bij einde bodembescherming	B_b	15,96 [m]

Karakteristieken scheepsschroef		
Initiële stroomsnelheid uit schroef	u_s	3,9 [m ² s ⁻¹]
Schroef diameter	D_s	1 [m]
Diepgang	t	1,2 [m]
Aantal schroeven	n	1 [-]
Afstand tussen schroefas en bodem	d_s	1,83 [m]

Karakteristieken bodemmateriaal		
Classificatie bodemmateriaal	ϕ	Fijnkorrelig zand
Hoek van inwendige wrijving	ϕ	30,0 [°]
Erosiediepte bij overgang hellingen	Y_0	0,0 [m]
Kritische mobiliteitsparameter	W_c	0,063 [-]
Kritieke stroomsnelheid	U_{*c}	0,309 [m s ⁻¹]
Sedimentologische diameter	D'	3,821 [m]
Nikuradse wandruwheid	k_s	5,92E-04 [m]
90-percentiel korrel diameter	d_{90}	1,97E-04 [m]
50-percentiel korrel diameter	d_{50}	1,32E-04 [m]
Eindhelling na instabiliteit	V_2	7,000 [°]
Beginhelling na instabiliteit	V_1	26,500 [°]

Karakteristieken bekleding		
Stortsteengradatie	ϕ	5 - 40 kg
50-percentiel steendiameter	d_{50}	0,301 [m]
Chézy coëfficiënt	C	25,920 [m ^{0,5} s ⁻¹]
Constante van Von Karmen	κ	0,400 [-]
Nikuradse wandruwheid	k_s	0,601 [m]
Ruwhoedcoëfficiënt	f_c	0,648 [-]

Ontgrondingskuil t.g.v. stroming		
Turbulentcoëfficiënt	τ_b	0,33 [-]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	11,264 [m]
Helling ontgrondingskuil voor instabiliteit	β_1	19,402 [°]
Inscharingslengte	L_s	29,88 [m]

Ontgrondingskuil t.g.v. schroef (ronde straal theorie)		
Aanzethelling ontgrondingskuil	β	90,06 [°]
Kritieke schuifspanningsnelheid	u_{*c}	0,011 [m s ⁻¹]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	2,72 [m]
Inscharingslengte	L_s	11,07 [m]

Ontgrondingskuil t.g.v. schroef (straalspreidingstheorie)		
Aanzethelling ontgrondingskuil	β	15,48 [°]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	21,22 [m]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	1,96 [m]
Inscharingslengte	L_s	4,44 [m]

bronnen: Waternet/ Ontwerp van Waterkerende Kunstwerken 2018; Scour Manual; Handboek Ontwerp van Schuifwanden

Bovenstrooms:

Inscharingslengte bodembescherming onder stromingsbelasting

Karakteristieken omgeving		
Breedte uitstroombening	B_1	6,8 [m]
Maximale breedte kanaal	B_2	18,0 [m]
Waterdiepte	h	4,15 [m]
Dichtheid bodemmateriaal	ρ_s	2600 [kg m ⁻³]
Dichtheid water	ρ_w	1000 [kg m ⁻³]
Watertemperatuur	θ	30,0 [°C]
Zwaartekrachtversnelling	g	9,81 [m s ⁻²]
Relatieve dichtheid	Δ	1,6 [-]
Hydraulische straal uitstroombening	R	1,87 [m]
Kinematische viscositeit	ν	8,00E-07 [m ² s ⁻¹]

Karakteristieken stroming		
Stroomsnelheid in uitstroombening	u_0	1,099 [m s ⁻¹]
Snelheid bij einde bodembescherming	U_b	0,514 [m s ⁻¹]
Breedte stroming bij einde bodembescherming	B_b	14,54 [m]

Karakteristieken scheepsschroef		
Initiële stroomsnelheid uit schroef	u_s	3,9 [m s ⁻¹]
Schroef diameter	D_s	1 [m]
Diepgang	t	1,2 [m]
Aantal schroeven	n	1 [-]
Afstand tussen schroefas en bodem	d_s	3,45 [m]

Karakteristieken bodemmateriaal		
Classificatie bodemmateriaal	ϕ	Fijnkorrelig zand
Hoek van inwendige wrijving	ϕ	30,0 [°]
Erosiediepte bij overgang hellingen	Y_0	0,0 [m]
Kritische mobiliteitsparameter	W_c	0,063 [-]
Kritieke stroomsnelheid	U_{*c}	0,323 [m s ⁻¹]
Sedimentologische diameter	D'	3,821 [m]
Nikuradse wandruwheid	k_s	5,92E-04 [m]
90-percentiel korrel diameter	d_{90}	1,97E-04 [m]
50-percentiel korrel diameter	d_{50}	1,32E-04 [m]
Eindhelling na instabiliteit	V_2	7,000 [°]
Beginhelling na instabiliteit	V_1	26,500 [°]

Karakteristieken bekleding		
Stortsteengradatie	ϕ	90 / 180 mm
50-percentiel steendiameter	d_{50}	0,203 [m]
Chézy coëfficiënt	C	31,397 [m ^{0,5} s ⁻¹]
Constante van Von Karmen	κ	0,400 [-]
Nikuradse wandruwheid	k_s	0,407 [m]
Ruwhoedcoëfficiënt	f_c	0,785 [-]

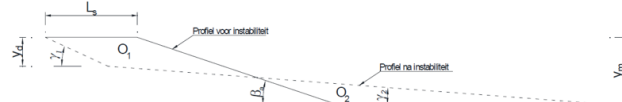
Ontgrondingskuil t.g.v. stroming		
Turbulentcoëfficiënt	τ_b	0,33 [-]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	8,996 [m]
Helling ontgrondingskuil voor instabiliteit	β_{eq}	18,535 [°]
Inscharingslengte	L_s	23,21 [m]

Ontgrondingskuil t.g.v. schroef (ronde straal theorie)		
Aanzethelling ontgrondingskuil	β	90,06 [°]
Kritieke schuifspanningsnelheid	u_{*c}	0,011 [m s ⁻¹]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	1,10 [m]
Inscharingslengte	L_s	4,47 [m]

Ontgrondingskuil t.g.v. schroef (straalspreidingstheorie)		
Aanzethelling ontgrondingskuil	β	1,48 [°]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	20,30 [m]
Evenwichtsdiepte ontgrondingskuil	Y_{eq}	0,17 [m]
Inscharingslengte	L_s	0,00 [m]



 anteagroup

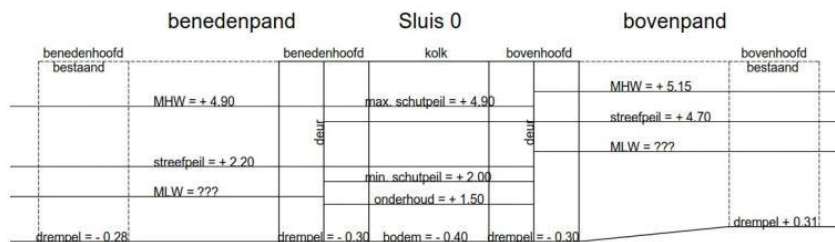


The diagram shows a cross-section of a channel. The channel width is labeled B . The bottom profile is shown as a dashed line, with the initial profile labeled 'Profil voor instabiliteit' and the final profile after erosion labeled 'Profil na instabiliteit'. The distance from the channel wall to the bottom profile is labeled L . The water level is labeled H . The bottom profile is labeled Y . The diagram also shows the channel bed level Y_{eq} and the channel wall level Y_{eq} . The diagram is labeled 'Profil voor instabiliteit' and 'Profil na instabiliteit'.

versie 2018
 bron: [Werkwijze Ontwerpen van Waterparels Kustontbreiding 2018](#), [Source Manual](#), [Handboek Ontwerpen van Schuifwanden](#)

6 Berekening kwelstroom

De maatgevende kwelstroom wordt gevonden bij een maximaal waterstandsverschil vastgesteld op 3200 mm. Deze wordt gevonden bij het streefpeil aan bovenpandszijde, en onderhoudspeil in de sluis.



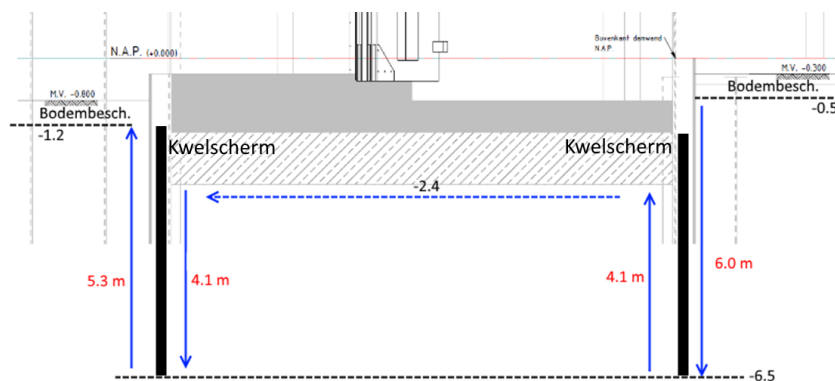
Figuur 15. Waterpeilen rond Sluis 0 [C.1]

Met behulp van de methode van Bligh en van Lane, wordt de kwelstroomtoets volbracht. Voor beide toetsen is de volgende vergelijking van toepassing:

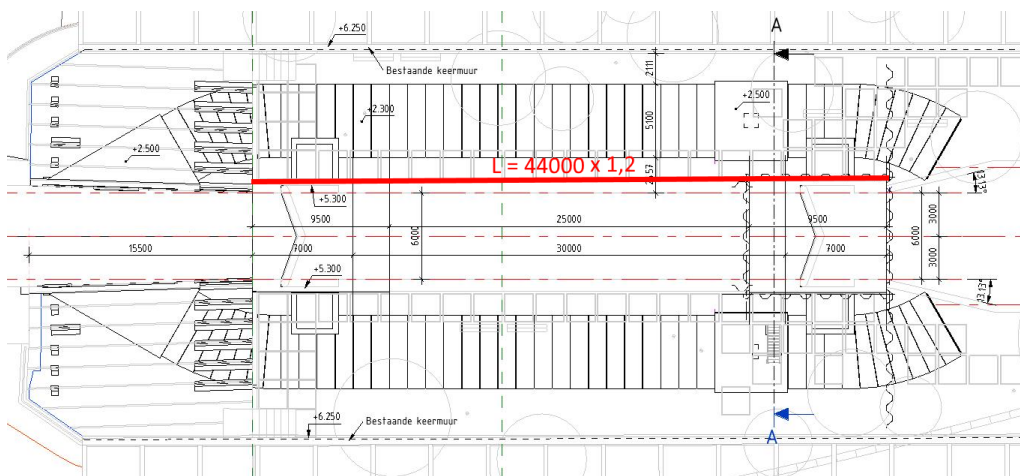
$$L \geq C \cdot \Delta H$$

ΔH is hierin de genoemde 3,2 m, het verschil in waterpeil. De constante C is afhankelijk van het grondsoort en de methode. Op basis van het grondonderzoek gevonden in [C.3], is de grondsoort vastgesteld op "Matig grof zand". De methode van Bligh heeft hier geen waarde voor gegeven. Echter wel voor de scenario's voor "Zeer/uiterst grof zand" en die van "Matig fijn zand". Om toch een toets te kunnen doen, is de waarde gemiddeld, zoals ook gevonden wordt bij de methode van Lane. Interpolatie van data wordt toegelaten aldus [N.1]. De onderstaande berekening kan nu worden gemaakt, waar de methode van Bligh gebruikt wordt voor de achterloopsheid en de methode van Lane voor de onderloopsheid, zoals wordt voorgeschreven in [N.1], pagina 29.

Op basis van hetzelfde document, op pagina 39, is het voor de korte horizontale afstand gevonden in deze case mogelijk om twee kwelschermen toe te passen. Het "short path" mechanisme wordt niet geactiveerd, welke de tweede kwelscherm interessant maakt. Daarom wordt gebruik gemaakt van twee kwelschermen, één aan weerszijde van het sluishoofd. Ter illustratie, zie hieronder.



Figuur 16. Locatie van kwelschermen.



6.1.2 Onderloopsheid

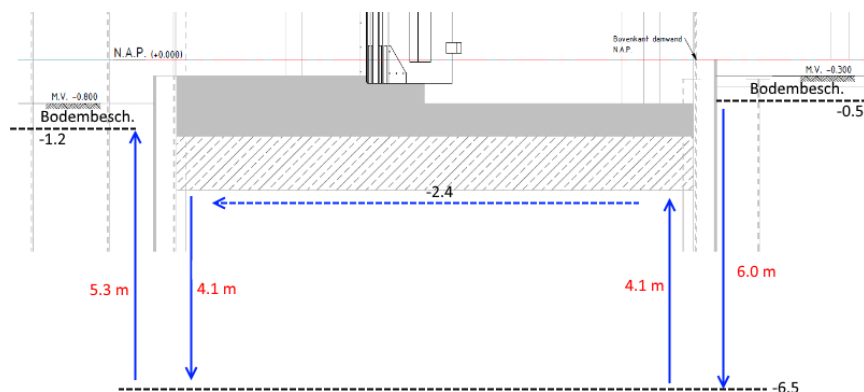
Met de methode van Lane:

Onderloopsheid bij kunstwerken op palen			
Bodem materiaal	Matig grof zand		
Verticale afstanden	6,00 (m)		
	4,10 (m)		
	4,10 (m)		
	5,30 (m)		
Horizontale afstand			
Waterpeil bovenstrooms	4,7 (m)		
Waterpeil benedenstrooms	1,5 (m)		
VOLDOENDE VEILIG VOOR ONDERLOOPSHEID!			

	C _{unep}	C _{wunep}
Uiterst fijn zand, silt	18	8,5
Zeef fijn zand	18	7
Matig fijn zand (kwarts)	15	7
Matig grof zand	13,5	6
Zeef/uiterst grof zand	12	5
Fijn grind	9	4
Matig grof grind		3,5
Zeef grof grind	4	3
bron: Technisch rapport Zandmeervoerende vellen		

	Bligh	Lane
Bruikbare lengte	N.V.T.	19,50 (m)
Veilige lengte	N.V.T.	19,20 (m)
Verskil	N.V.T.	0,30 (m)

Uit bovenstaande analyse blijkt dat twee kwelshielden met die hieronder gepresenteerde maten voldoen tegen onderloopsheid. Deze berekening laat zien dat de shielden een diepte van minimaal NAP -6,5 m moeten hebben. De damwanden in [C.5] rijken tot deze diepte, en voldoen daarmee als kwelshield.



Figuur 17. Kwelstroom route bovenstrooms

6.2 Benedenpands

De berekening voor het kwelshield aan de benedenpands-zijde volgt nu:

6.2.1 Achterloopsheid

Met de methode van Bligh:

Achterloopsheid bij kunstwerken			
Bodem materiaal	Matig grof zand		
Verticale afstanden		(m)	
		(m)	
		(m)	
Horizontale afstand	52,80	(m)	
		(m)	
		(m)	
Waterpeil bovenstrooms	4,9	(m)	
Waterpeil benedenstrooms	2	(m)	
VOLDOENDE VEILIG VOOR ACHTERLOOPSHEID			

	C _{coreep}	C _{wozweep}
Uiterst fijn zand, silt	18	8,5
Zeef fijn zand	18	7
Matig fijn zand (kwarts)	15	7
Matig grof zand	13,5	6
Zeef/uiterst grof zand	12	5
Fijn grind	9	4
Matig grof grind	3,5	
Zeef grof grind	4	3
bron: Technisch rapport Zandmeevoerende vellen		

	Bligh	Lane
Bruikbare lengte	52,80	N.V.T.
Veilige lengte	39,15	N.V.T.
Verschuif	13,65	N.V.T.

Uit bovenstaande analyse blijkt dat de kwelschermen een horizontale afstand 39,15 meter moeten blokkeren. Met het huidige ontwerp van de damwanden wordt deze afstand ruim overschreden, en kan er daarmee geen achterloopsheid optreden. Met het verloopoppervlakte in acht genomen zal ongeacht het damwand profiel een lengte van 35 meter volstaan. Om zowel benedenpands als bovenpands deze afstand te realiseren worden de twee sluishoofden verbonden met het kwelscherm. Deze lengte is ruim 52 meter (inclusief verloopoppervlakte), welke de achterloopsheid doet voldoen.

6.2.2 Onderloopsheid

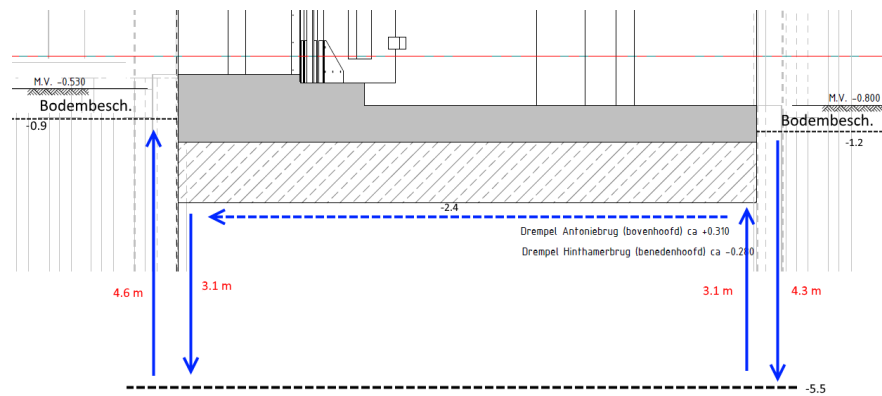
Met de methode van Lane:

Onderloopsheid bij kunstwerken op palen			
Bodem materiaal	Matig grof zand		
Verticale afstanden	4,30	(m)	
	3,10	(m)	
	3,10	(m)	
	4,60	(m)	
Horizontale afstand		(m)	
		(m)	
		(m)	
Waterpeil bovenstrooms	4,7	(m)	
Waterpeil benedenstrooms	2,2	(m)	
VOLDOENDE VEILIG VOOR ONDERLOOPSHEID!			

	C _{coreep}	C _{wozweep}
Uiterst fijn zand, silt	18	8,5
Zeef fijn zand	18	7
Matig fijn zand (kwarts)	15	7
Matig grof zand	13,5	6
Zeef/uiterst grof zand	12	5
Fijn grind	9	4
Matig grof grind	3,5	
Zeef grof grind	4	3
bron: Technisch rapport Zandmeevoerende vellen		

	Bligh	Lane
Bruikbare lengte	N.V.T.	15,10
Veilige lengte	N.V.T.	15,00
Verschuif	N.V.T.	0,10

Uit bovenstaande analyse blijkt dat twee kwelschermen met die hieronder gepresenteerde maten voldoen tegen onderloopsheid. Deze berekening laat zien dat de schermen een diepte van minimaal NAP -5,5 m moeten hebben. De aanwezige damwanden rijken tot deze diepte, en voldoen daarmee als kwelscherm.



Figuur 18. Kwelstroom route benedenstrooms

7 Stroomsnelheden in de kanalen

In deze DO fase is ten opzichte van de VO fase weinig veranderd aan het ontwerp van de spuikanalen. Wél zijn er drie aanpassingen gemaakt die een gunstig effect hebben op de laterale stroomsnelheden vlak voor en vlak na de sluis.

Ten eerste is de inval- en uitvalhoek verminderd, van 45 graden naar 30 graden. Hierdoor is de laterale component van de stroming verminderd met 29 procent, namelijk van $\sin(45)$ naar $\sin(30)$. Door de kleinere hoek is ook het instroomoppervlakte in vaarrichting vergroot, wat zorgt voor een grotere verdeling van laterale stroomsnelheden.

Ten tweede zijn de kanalen breder en minder hoog gedimensioneerd, wat als gunstig effect heeft dat laterale stroming zich nu kan verspreiden over een grotere breedte. Hierdoor zal rond het oppervlakteniveau minder snelle stroming gevonden worden.

Ten derde kan door de minder hoge dimensionering, het plafond van de kanalen lager liggen. Voor zwemmende mensen en schepen met een relatief kleine diepgang, zal dit een gunstige bijdrage hebben aan de ondervonden stroomsnelheden.

Naast deze drie gunstige aanpassingen is er ten aanzien van dit onderwerp ook een negatieve ontwerpkeuze gemaakt: het doorstroomoppervlakte is verminderd van twee maal 10 vierkante meter, naar twee maal 9 vierkante meter. Stroomsnelheden zullen hierdoor dus 11 procent hoger liggen.

Het gecombineerde effect van de vier besproken wijzigingen zal een kleine vermindering van laterale stromingen veroorzaken. Het effect van de hoekvermindering compenseert de extra stroomsnelheid, het onderstaande geldt immers:

$$u_{lat,ontwerp,nu} = Q \cdot \frac{\sin(30)}{9} < Q \cdot \frac{\sin(45)}{10} = u_{lat,ontwerp,WiBo}$$

De andere twee gunstige componenten zullen daar bovenop nog een kleine gunstige bijdrage brengen. Met deze conclusie is het onderzoek van Witteveen en Bos [C.4] aan de conservatieve kant, en kunnen de resultaten overgenomen worden betreffende de stromingspatronen.

	Spuien door 2 kanalen				Spuien door 1 kanaal	
	Doorsnede 1a	Doorsnede 1b	Doorsnede 1c	Doorsnede 1d	Doorsnede 2b	Doorsnede 2d
	$b_s = 0,88 \text{ m}$ $\beta = 0^\circ$ $h = 2,3 \text{ m}$	$b_s = 0,63 \text{ m}$ $\beta = 0^\circ$ $h = 2,3 \text{ m}$	$b_s = 1,0 \text{ m}$ $\beta = 40^\circ$ $h = 2,3 \text{ m}$	$b_s = 1,0 \text{ m}$ $\beta = 45^\circ$ $h = 2,3 \text{ m}$	$b_s = 0,67 \text{ m}$ $\beta = 0^\circ$ $h = 2,3 \text{ m}$	$b_s = 0,50 \text{ m}$ $\beta = 45^\circ$ $h = 2,3 \text{ m}$
eis < 0,5 m/s langsstroom	8,1 m³/s	5,8 m³/s	12,0 m³/s	13,0 m³/s	6,4 m³/s	6,5 m³/s
eis < 0,8 m/s langsstroom mits 50 m uitloop (versmalling)	13,0 m³/s	9,3 m³/s	19,2 m³/s	20,8 m³/s	9,9 m³/s	10,4 m³/s
eis < 0,3 m/s dwarsstroom	n.v.t.	n.v.t.	8,6 m³/s	7,8 m³/s	n.v.t.	3,9 m³/s
eis < 0,4 m/s drenkelingen	6,5 m³/s	4,6 m³/s	7,4 m³/s	7,4 m³/s	4,9 m³/s	3,7 m³/s

Figuur 19. Toelaatbare debieten onderzocht bij verschillende doorsneden bij het spuien van 1 of 2 kanalen met verschillende eisen fungerend [C.4].

8 Conclusies en aandachtspunten

8.1 Conclusies

In deze rapportage is aangetoond dat de hydrologische aspecten van Sluis 0 voldoen aan de eisen bij het uitvoeren van het ontwerp zoals gepresenteerd is in hoofdstuk 3.

De eisen, zoals gepresenteerd aan het begin van de rapportage, zullen hieronder nogmaals staan met hun samengevatte uitwerking.

Het Spuiwerk dient de afvoercapaciteit te kunnen afvoeren met een maximale afwijking van 5% (t.o.v. de gewenste m³/s afvoer). [Eis 003]

Zoals te zien is in bijlage 2, is de regelbaarheid per centimeter afdoende om fijnregeling van debiet te waarborgen.

De minimale uitstroom en toepassing van het Spuiwerk benedenstrooms dient voorafgaand aan realisatie aangetoond te worden middels berekeningen en 3D simulatie. [Eis 026]

In hoofdstuk 7 is het stromingseffect van de (in- en) uitstroom bepaald middels een simulatie. Hierin is aangetoond voor welke debieten onder welke omstandigheden limieten overschreden worden.

Het Spuiwerk dient de afvoer capaciteit te kunnen afvoeren en regelen in stappen van 1 cm. [Eis 128]

De mechanische eis wordt gewaarborgd in het ontwerp van de schuif, in dit rapport is het hydrodynamische effect er van gerapporteerd. Zie bijlage 2 voor de uitwerking.

Het spuiwerk dient middels natuurlijk verloop/vrij verval de waterafvoer te kunnen realiseren (geen opvoerhoogtes). [Eis 136]

De debieten zijn berekend op basis van vrij verval, zoals te lezen is in hoofdstuk 4.

De uit- en instroom en toepassing van het Spuiwerk beneden- en bovenstrooms dient zo ontworpen en gerealiseerd te worden dat kolken en stroming aan het beneden- en bovenhoofd tot een minimum worden beperkt. [Eis 305]

Ontwerpkeuzes beschreven in hoofdstuk 7 tonen aan dat hinder door spuien tot een minimum wordt gehouden.

Het Spuiwerk dient de piekafvoer capaciteit te kunnen afvoeren bij een verhang (tussen benedenhoofd en bovenhoofd) tot maximaal 2,5 m en bij een verhang van NAP + 5.15 m bovenstrooms en NAP + 4,90 m benedenstrooms (0,25 m. peilverschil). [Eis 022]

Zoals te lezen is in hoofdstuk 4, kan het debiet worden bereikt bij minimaal verhang.

Het Spuiwerk dient een piekafvoercapaciteit van minimaal 31m³/s te kunnen afvoeren. [Eis 119]

Zoals te lezen is in hoofdstuk 4, kan het debiet worden bereikt bij elk verhang.

8.2 Aandachtspunten

- In dit stadium van het ontwerp is nog geen keuze gemaakt betreffende het hekwerk bij de inlaat van de spuikanalen. De precieze effecten hiervan zullen nader beschouwd moeten worden.
- De wanden van de spuikanalen dienen glad afgewerkt te worden, zoals de standaard is bij prefab beton.
- De damwanden zullen moeten rijken tot de gepresenteerde diepten en kunnen t.b.v. van de kwelberekening niet vroegtijdig gestopt worden wanneer de grondlagen hard blijken te zijn.
- De Oude Dirk (het maatgevend schip) dient niet op volle kracht het sluizencomplex te verlaten. Het is van belang dat dit gematigd gebeurt in verband met de aanwezig bodembescherming.
- Het debiet van $31 \text{ m}^3/\text{s}$ (bij twee spuikanalen) dient niet overschreden te worden, ten behoeve van de aanwezige bodembescherming. Voor één spuikanaal dient het debiet van $15,5 \text{ m}^3/\text{s}$ niet overschreden te worden.

Bijlage 1 Eisen

Bijlage 1 Eisen

Nr.	Object (volgens OG)	Eistitel	Eistekst	Toelichting
003	1.2 Spuiwerk	Afvoercapaciteit	Het Spuiwerk dient de afvoercapaciteit te kunnen afvoeren met een maximale afwijking van 5% (t.o.v. de gewenste m ³ /s afvoer)	
022	1.2 Spuiwerk	Afvoercapaciteit	Het Spuiwerk dient de piekafvoer capaciteit te kunnen afvoeren bij een verhang (tussen benedenhoofd en bovenhoofd) tot maximaal 2,5 m en bij een verhang van 5.15 +NAP bovenstrooms en 4,90+NAP benedenstrooms (0,25 m. peilverschil) .	
026	1.2 Spuiwerk	Optimale uitstroom Spuiwerk	De minimale uitstroom en toepassing van het Spuiwerk benedenstrooms dient voorafgaand aan realisatie aangetoond te worden middels berekeningen en 3D simulatie.	In de VO fase is een Hydrodynamische analyse opgesteld (zie bijlage in document 'Leeswijzer'). Op basis van deze analyse dienen de in- en uitstroomvoorzieningen nader geoptimaliseerd en gedimensioneerd te worden.
128	1.2 Spuiwerk	Afvoercapaciteit	Het Spuiwerk dient de afvoer capaciteit te kunnen afvoeren en regelen in stappen van 1 cm (zie ook eisnr. 148b)	Dit dient in de bouwteamfase concreet gemaakt te worden als het ontwerp van het Spuiwerk definitief is vastgesteld. Validatie: behoefte van het waterschap is een fijnregeling instelbaarheid klep om golfvorming te voorkomen.
136	1.2.1 Civiele constructies (Spuiwerk)	Natuurlijk verloop Spuiwerk	Het spuiwerk dient middels natuurlijk verloop/vrijverloop de waterafvoer te kunnen realiseren (geen opvoerhoogtes)	

305	1.2.1 Civiele constructies (Spuiwerk)	Vormgeving uit- en instroomvoorzieningen spuiwerk	De uit- en instroom en toepassing van het Spuiwerk beneden- en bovenstrooms dient zo ontworpen en gerealiseerd te worden dat kolken en stroming aan het beneden- en bovenhoofd tot een minimum worden beperkt.	In de VO fase is een 'Hydrodynamische analyse' opgesteld (deze is als bijlage toegevoegd bij het document 'Leeswijzer' met nummer 015). Op basis van deze analyse dienen de in- en uitstroomvoorzieningen nader geoptimaliseerd en gedimensioneerd te worden.
-----	---------------------------------------	---	--	---

Bijlage 2 Debietsbepaling

Debiet [m3/s]	Waterstandsverschil [m]									
Openingshoogte [m]	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
0,02	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
0,03	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2
0,04	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
0,05	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
0,06	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
0,07	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
0,08	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5
0,09	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6
0,11	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
0,12	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	1,0
0,13	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2
0,14	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4
0,15	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5
0,16	0,5	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
0,17	0,6	0,9	1,0	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
0,18	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1
0,19	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3
0,2	0,8	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,3	2,5	2,6
0,21	0,9	1,3	1,6	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	2,9
0,22	1,0	1,5	1,8	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3
0,23	1,1	1,6	2,0	2,3	2,5	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
0,24	1,2	1,7	2,1	2,5	2,8	3,0	3,3	3,5	3,7	3,9
0,25	1,3	1,9	2,3	2,7	3,0	3,3	3,5	3,8	4,0	4,2
0,26	1,4	2,0	2,5	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,6
0,27	1,5	2,2	2,7	3,1	3,5	3,8	4,1	4,4	4,6	4,9
0,28	1,7	2,3	2,9	3,3	3,7	4,0	4,4	4,7	5,0	5,2
0,29	1,8	2,5	3,1	3,6	4,0	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6
0,3	1,9	2,7	3,3	3,8	4,3	4,7	5,1	5,4	5,8	6,1
0,31	2,1	2,9	3,6	4,1	4,6	5,1	5,5	5,9	6,2	6,5
0,32	2,2	3,1	3,8	4,4	5,0	5,4	5,9	6,3	6,6	7,0
0,33	2,4	3,3	4,1	4,7	5,3	5,8	6,2	6,7	7,1	7,5
0,34	2,5	3,5	4,3	5,0	5,6	6,1	6,6	7,1	7,5	7,9
0,35	2,7	3,7	4,6	5,3	5,9	6,5	7,0	7,5	8,0	8,4
0,36	2,8	4,0	4,8	5,6	6,3	6,9	7,4	7,9	8,4	8,8
0,37	2,9	4,2	5,1	5,9	6,6	7,2	7,8	8,3	8,8	9,3
0,38	3,1	4,4	5,4	6,2	6,9	7,6	8,2	8,7	9,3	9,8
0,39	3,3	4,6	5,7	6,5	7,3	8,0	8,6	9,2	9,8	10,3
0,4	3,4	4,9	5,9	6,9	7,7	8,4	9,1	9,7	10,3	10,9
0,41	3,6	5,1	6,2	7,2	8,1	8,8	9,5	10,2	10,8	11,4
0,42	3,8	5,3	6,5	7,6	8,5	9,3	10,0	10,7	11,3	12,0
0,43	4,0	5,6	6,8	7,9	8,8	9,7	10,5	11,2	11,9	12,5
0,44	4,1	5,8	7,1	8,3	9,2	10,1	10,9	11,7	12,4	13,1
0,45	4,3	6,1	7,4	8,6	9,6	10,5	11,4	12,2	12,9	13,6
0,46	4,5	6,3	7,7	8,9	10,0	11,0	11,8	12,7	13,4	14,1
0,47	4,6	6,6	8,0	9,3	10,4	11,4	12,3	13,1	13,9	14,7
0,48	4,8	6,8	8,3	9,6	10,8	11,8	12,8	13,6	14,5	15,2
0,49	5,0	7,1	8,6	10,0	11,2	12,2	13,2	14,1	15,0	15,8
0,5	5,2	7,3	8,9	10,3	11,6	12,7	13,7	14,6	15,5	16,3
0,51	5,3	7,6	9,2	10,7	11,9	13,1	14,1	15,1	16,0	16,9
0,52	5,5	7,8	9,5	11,0	12,3	13,5	14,6	15,6	16,5	17,4
0,53	5,7	8,0	9,8	11,4	12,7	13,9	15,0	16,1	17,1	18,0
0,54	5,9	8,3	10,1	11,7	13,1	14,3	15,5	16,6	17,6	18,5
0,55	6,0	8,5	10,4	12,1	13,5	14,8	16,0	17,1	18,1	19,1
0,56	6,2	8,8	10,7	12,4	13,9	15,2	16,4	17,5	18,6	19,6
0,57	6,4	9,0	11,0	12,8	14,3	15,6	16,9	18,0	19,1	20,2
0,58	6,6	9,3	11,4	13,2	14,7	16,1	17,4	18,6	19,8	20,8
0,59	6,8	9,6	11,8	13,6	15,2	16,6	18,0	19,2	20,4	21,5
0,6	7,0	9,9	12,1	14,0	15,7	17,2	18,5	19,8	21,0	22,2
0,61	7,2	10,2	12,5	14,4	16,1	17,7	19,1	20,4	21,6	22,8
0,62	7,4	10,5	12,9	14,9	16,6	18,2	19,6	21,0	22,3	23,5
0,63	7,6	10,8	13,2	15,3	17,1	18,7	20,2	21,6	22,9	24,1
0,64	7,8	11,1	13,6	15,7	17,5	19,2	20,8	22,2	23,5	24,8
0,65	8,1	11,4	14,0	16,1	18,0	19,7	21,3	22,8	24,2	25,5
0,66	8,3	11,7	14,3	16,5	18,5	20,2	21,9	23,4	24,8	26,1
0,67	8,5	12,0	14,7	17,0	19,0	20,8	22,4	24,0	25,4	26,8

0,68	8,7	12,3	15,0	17,4	19,4	21,3	23,0	24,6	26,1	27,5
0,69	8,9	12,6	15,4	17,8	19,9	21,8	23,5	25,2	26,7	28,1
0,7	9,1	12,9	15,8	18,2	20,4	22,3	24,1	25,8	27,3	28,8
0,71	9,3	13,2	16,1	18,6	20,8	22,8	24,6	26,3	27,9	29,5
0,72	9,5	13,5	16,5	19,0	21,3	23,3	25,2	26,9	28,6	30,1
0,73	9,7	13,8	16,9	19,5	21,8	23,8	25,8	27,5	29,2	30,8
0,74	9,9	14,1	17,2	19,9	22,2	24,4	26,3	28,1	29,8	31,4
0,75	10,2	14,4	17,6	20,3	22,7	24,9	26,9	28,7	30,5	32,1
0,76	10,4	14,7	17,9	20,7	23,2	25,4	27,4	29,3	31,1	32,8
0,77	10,6	15,0	18,4	21,2	23,7	26,0	28,1	30,0	31,8	33,5
0,78	10,8	15,3	18,8	21,7	24,3	26,6	28,7	30,7	32,5	34,3
0,79	11,1	15,7	19,2	22,2	24,8	27,2	29,3	31,4	33,3	35,1
0,8	11,3	16,0	19,6	22,7	25,3	27,7	30,0	32,0	34,0	35,8
0,81	11,6	16,4	20,0	23,1	25,9	28,3	30,6	32,7	34,7	36,6
0,82	11,8	16,7	20,5	23,6	26,4	28,9	31,2	33,4	35,4	37,3
0,83	12,1	17,0	20,9	24,1	26,9	29,5	31,9	34,1	36,2	38,1
0,84	12,3	17,4	21,3	24,6	27,5	30,1	32,5	34,8	36,9	38,9
0,85	12,5	17,7	21,7	25,1	28,0	30,7	33,2	35,5	37,6	39,6
0,86	12,8	18,1	22,1	25,6	28,6	31,3	33,8	36,1	38,3	40,4
0,87	13,0	18,4	22,5	26,0	29,1	31,9	34,4	36,8	39,1	41,2
0,88	13,3	18,7	23,0	26,5	29,6	32,5	35,1	37,5	39,8	41,9
0,89	13,5	19,1	23,4	27,0	30,2	33,1	35,7	38,2	40,5	42,7
0,9	13,7	19,4	23,8	27,5	30,7	33,7	36,4	38,9	41,2	43,5
0,91	14,0	19,8	24,2	28,0	31,3	34,2	37,0	39,5	41,9	44,2
0,92	14,2	20,1	24,6	28,4	31,8	34,8	37,6	40,2	42,7	45,0
0,93	14,5	20,5	25,1	28,9	32,3	35,4	38,3	40,9	43,4	45,7
0,94	14,7	20,8	25,5	29,4	32,9	36,0	38,9	41,6	44,1	46,5
0,95	14,9	21,1	25,9	29,9	33,4	36,6	39,5	42,3	44,8	47,3
0,96	15,2	21,5	26,3	30,4	34,0	37,2	40,2	43,0	45,6	48,1
0,97	15,5	21,9	26,8	30,9	34,5	37,8	40,9	43,7	46,4	48,9
0,98	15,7	22,2	27,2	31,4	35,1	38,5	41,5	44,4	47,1	49,7
0,99	16,0	22,6	27,6	31,9	35,7	39,1	42,2	45,1	47,9	50,5
1	16,2	22,9	28,1	32,4	36,2	39,7	42,9	45,8	48,6	51,2
1,01	16,5	23,3	28,5	32,9	36,8	40,3	43,5	46,5	49,4	52,0
1,02	16,7	23,6	28,9	33,4	37,4	40,9	44,2	47,3	50,1	52,8
1,03	17,0	24,0	29,4	33,9	37,9	41,5	44,9	48,0	50,9	53,6
1,04	17,2	24,3	29,8	34,4	38,5	42,2	45,5	48,7	51,6	54,4
1,05	17,5	24,7	30,2	34,9	39,1	42,8	46,2	49,4	52,4	55,2
1,06	17,7	25,1	30,7	35,4	39,6	43,4	46,9	50,1	53,1	56,0
1,07	18,0	25,4	31,1	35,9	40,2	44,0	47,5	50,8	53,9	56,8
1,08	18,2	25,8	31,6	36,4	40,7	44,6	48,2	51,5	54,7	57,6
1,09	18,5	26,1	32,0	36,9	41,3	45,2	48,9	52,2	55,4	58,4
1,1	18,7	26,5	32,4	37,4	41,9	45,9	49,5	53,0	56,2	59,2
1,11	19,0	26,8	32,9	37,9	42,4	46,5	50,2	53,7	56,9	60,0
1,12	19,2	27,2	33,3	38,5	43,0	47,1	50,9	54,4	57,7	60,8
1,13	19,5	27,5	33,7	39,0	43,6	47,7	51,5	55,1	58,4	61,6
1,14	19,7	27,9	34,2	39,5	44,1	48,3	52,2	55,8	59,2	62,4
1,15	20,0	28,2	34,6	39,9	44,6	48,9	52,8	56,5	59,9	63,1
1,16	20,2	28,6	35,0	40,4	45,2	49,5	53,4	57,1	60,6	63,9
1,17	20,4	28,9	35,4	40,9	45,7	50,1	54,1	57,8	61,3	64,6
1,18	20,7	29,2	35,8	41,3	46,2	50,6	54,7	58,5	62,0	65,4
1,19	20,9	29,6	36,2	41,8	46,8	51,2	55,3	59,1	62,7	66,1
1,2	21,1	29,9	36,6	42,3	47,3	51,8	55,9	59,8	63,4	66,9
1,21	21,4	30,2	37,0	42,8	47,8	52,4	56,6	60,5	64,1	67,6
1,22	21,6	30,6	37,4	43,2	48,3	53,0	57,2	61,1	64,9	68,4
1,23	21,9	30,9	37,9	43,7	48,9	53,5	57,8	61,8	65,6	69,1
1,24	22,1	31,2	38,3	44,2	49,4	54,1	58,4	62,5	66,3	69,9
1,25	22,3	31,6	38,7	44,7	49,9	54,7	59,1	63,1	67,0	70,6
1,26	22,6	31,9	39,1	45,1	50,5	55,3	59,7	63,8	67,7	71,3
1,27	22,8	32,2	39,5	45,6	51,0	55,8	60,3	64,5	68,4	72,1
1,28	23,0	32,6	39,9	46,1	51,5	56,4	60,9	65,2	69,1	72,8
1,29	23,3	32,9	40,3	46,5	52,0	57,0	61,6	65,8	69,8	73,6
1,3	23,5	33,2	40,7	47,0	52,6	57,6	62,2	66,5	70,5	74,3
1,31	23,7	33,6	41,1	47,5	53,1	58,2	62,8	67,2	71,2	75,1
1,32	24,0	33,9	41,5	48,0	53,6	58,7	63,4	67,8	71,9	75,8
1,33	24,2	34,2	41,9	48,4	54,1	59,3	64,1	68,5	72,6	76,6
1,34	24,4	34,5	42,2	48,8	54,5	59,7	64,5	69,0	73,2	77,1
1,35	24,6	34,7	42,6	49,1	54,9	60,2	65,0	69,5	73,7	77,7
1,36	24,7	35,0	42,9	49,5	55,3	60,6	65,5	70,0	74,2	78,3
1,37	24,9	35,3	43,2	49,9	55,7	61,1	66,0	70,5	74,8	78,8

1,38	25,1	35,5	43,5	50,2	56,1	61,5	66,4	71,0	75,3	79,4
1,39	25,3	35,8	43,8	50,6	56,5	61,9	66,9	71,5	75,9	80,0
1,4	25,5	36,0	44,1	50,9	56,9	62,4	67,4	72,0	76,4	80,5
1,41	25,6	36,3	44,4	51,3	57,3	62,8	67,8	72,5	76,9	81,1
1,42	25,8	36,5	44,7	51,6	57,7	63,2	68,3	73,0	77,5	81,6
1,43	26,0	36,8	45,0	52,0	58,1	63,7	68,8	73,5	78,0	82,2
1,44	26,2	37,0	45,3	52,4	58,5	64,1	69,3	74,0	78,5	82,8
1,45	26,4	37,3	45,6	52,7	58,9	64,6	69,7	74,5	79,1	83,3
1,46	26,5	37,5	46,0	53,1	59,3	65,0	70,2	75,0	79,6	83,9
1,47	26,7	37,8	46,3	53,4	59,7	65,4	70,7	75,5	80,1	84,5
1,48	26,9	38,0	46,6	53,8	60,1	65,9	71,1	76,1	80,7	85,0
1,49	27,1	38,3	46,9	54,1	60,5	66,3	71,6	76,6	81,2	85,6
1,5	27,2	38,5	47,2	54,5	60,9	66,7	72,1	77,1	81,7	86,2
1,51	27,4	38,8	47,5	54,8	61,3	67,2	72,6	77,6	82,3	86,7
1,52	27,6	39,0	47,8	55,2	61,7	67,6	73,0	78,1	82,8	87,3
1,53	27,7	39,2	48,0	55,4	62,0	67,9	73,3	78,4	83,2	87,7
1,54	27,8	39,4	48,2	55,7	62,2	68,2	73,6	78,7	83,5	88,0
1,55	27,9	39,5	48,4	55,9	62,5	68,5	73,9	79,0	83,8	88,4
1,56	28,1	39,7	48,6	56,1	62,8	68,7	74,2	79,4	84,2	88,7
1,57	28,2	39,9	48,8	56,4	63,0	69,0	74,6	79,7	84,5	89,1
1,58	28,3	40,0	49,0	56,6	63,3	69,3	74,9	80,0	84,9	89,5
1,59	28,4	40,2	49,2	56,8	63,5	69,6	75,2	80,4	85,2	89,8
1,6	28,5	40,3	49,4	57,1	63,8	69,9	75,5	80,7	85,6	90,2
1,61	28,6	40,5	49,6	57,3	64,0	70,2	75,8	81,0	85,9	90,6
1,62	28,8	40,7	49,8	57,5	64,3	70,4	76,1	81,3	86,3	90,9
1,63	28,9	40,8	50,0	57,7	64,6	70,7	76,4	81,7	86,6	91,3
1,64	29,0	41,0	50,2	58,0	64,8	71,0	76,7	82,0	87,0	91,7
1,65	29,1	41,2	50,4	58,2	65,1	71,3	77,0	82,3	87,3	92,0
1,66	29,2	41,3	50,6	58,4	65,3	71,6	77,3	82,6	87,7	92,4
1,67	29,3	41,5	50,8	58,7	65,6	71,9	77,6	83,0	88,0	92,8
1,68	29,4	41,6	51,0	58,9	65,8	72,1	77,9	83,3	88,3	93,1
1,69	29,6	41,8	51,2	59,1	66,1	72,4	78,2	83,6	88,7	93,5
1,7	29,7	42,0	51,4	59,4	66,4	72,7	78,5	83,9	89,0	93,9
1,71	29,8	42,1	51,6	59,6	66,6	73,0	78,8	84,3	89,4	94,2
1,72	29,9	42,2	51,7	59,7	66,8	73,1	79,0	84,5	89,6	94,4
1,73	29,9	42,3	51,8	59,8	66,9	73,3	79,2	84,6	89,8	94,6
1,74	30,0	42,4	51,9	60,0	67,0	73,4	79,3	84,8	90,0	94,8
1,75	30,0	42,5	52,0	60,1	67,2	73,6	79,5	85,0	90,1	95,0
1,76	30,1	42,6	52,2	60,2	67,3	73,8	79,7	85,2	90,3	95,2
1,77	30,2	42,7	52,3	60,4	67,5	73,9	79,8	85,3	90,5	95,4
1,78	30,2	42,8	52,4	60,5	67,6	74,1	80,0	85,5	90,7	95,6
1,79	30,3	42,9	52,5	60,6	67,8	74,2	80,2	85,7	90,9	95,8
1,8	30,4	42,9	52,6	60,7	67,9	74,4	80,3	85,9	91,1	96,0
1,81	30,4	43,0	52,7	60,9	68,0	74,5	80,5	86,1	91,3	96,2
1,82	30,5	43,1	52,8	61,0	68,2	74,7	80,7	86,2	91,5	96,4
1,83	30,6	43,2	52,9	61,1	68,3	74,8	80,8	86,4	91,7	96,6
1,84	30,6	43,3	53,0	61,2	68,5	75,0	81,0	86,6	91,9	96,8
1,85	30,7	43,4	53,1	61,4	68,6	75,2	81,2	86,8	92,0	97,0
1,86	30,7	43,5	53,3	61,5	68,8	75,3	81,3	87,0	92,2	97,2
1,87	30,8	43,6	53,4	61,6	68,9	75,5	81,5	87,1	92,4	97,4
1,88	30,9	43,7	53,5	61,7	69,0	75,6	81,7	87,3	92,6	97,6
1,89	30,9	43,8	53,6	61,9	69,2	75,8	81,9	87,5	92,8	97,8
1,9	31,0	43,8	53,7	62,0	69,3	75,9	82,0	87,7	93,0	98,0

Bijlage 3 Verificatieformulier

Over Antea Group

Van stad tot land, van water tot lucht; de adviseurs en ingenieurs van Antea Group dragen in Nederland sinds jaar en dag bij aan onze leefomgeving. We ontwerpen bruggen en wegen, realiseren woonwijken en waterwerken. Maar we zijn ook betrokken bij thema's zoals milieu, veiligheid, assetmanagement en energie. Onder de naam Oranjewoud groeiden we uit tot een allround en onafhankelijk partner voor bedrijfsleven en overheden. Als Antea Group zetten we deze expertise ook mondiaal in. Door hoogwaardige kennis te combineren met een pragmatische aanpak maken we oplossingen haalbaar én uitvoerbaar. Doelgericht, met oog voor duurzaamheid. Op deze manier anticiperen we op de vragen van vandaag en de oplossingen van de toekomst. Al meer dan 60 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN

www.anteagroup.nl

Copyright © 2019

Niets uit deze uitgave mag worden
verveelvoudigd en/of openbaar worden
gemaakt door middel van druk, fotokopie,
elektronisch of op welke wijze dan ook,
zonder schriftelijke toestemming van de
auteurs.